

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Josip Cindrić

USPOREDNA ANALIZA METODA DEFINIRANJA
BRZINE VOZILA PRI NALETU NA PJEŠAKA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2019.

Zagreb, 3. travnja 2019.

Zavod: **Zavod za prometno-tehnička vještačenja**
Predmet: **Prometno tehničke ekspertize i sigurnost**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5226

Pristupnik: **Josip Cindrić (0135228598)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Usporedna analiza metoda definiranja brzine vozila pri naletu na pješaka**

Opis zadatka:

U Diplomskom radu potrebno je definirati relevantnu metodu za utvrđivanje brzine vozila prilikom naleta na pješaka. Na početku rada potrebno je opisati vrste prometnih nesreća te objasniti dinamiku naleta vozila na pješaka. Izdvojiti metode za utvrđivanje brzine naleta te na temelju realnih primjera i simulacijskog programa za analizu prometnih nesreća odrediti u kojim slučajevima pojedina metoda najbolje odgovara stvarnim situacijama.

Mentor:



prof. dr. sc. Goran Zovak

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**USPOREDNA ANALIZA METODA DEFINIRANJA
BRZINE VOZILA PRI NALETU NA PJEŠAKA**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR DEFINING
THE SPEED OF VEHICLE IN VEHICLE-PEDESTRIAN
COLLISIONS**

Mentor: prof. dr. sc. Goran Zovak

Student: Josip Cindrić

JMBAG: 0135228598

Zagreb, rujan 2019.

SAŽETAK

U diplomskom radu analizirane su osnovne fizikalne zakonitosti vezane za prometnu nesreću naleta vozila na pješaka. Opisane su vrste naleta i kinematika naleta vozila na pješaka te prikazani statistički podaci relevantni za prometne nesreće vezane za pješake. Brzina vozila u trenutku naleta na pješaka je jedan od ključnih čimbenika za kvalitetnu rekonstrukciju prometne nesreće. Svrha istraživanja diplomskog rada je prikazivanje različitih metoda koje se koriste za utvrđivanje brzine vozila pri naletu na pješaka i njihova pouzdanost ovisno o okolnostima prometne nesreće. U radu su prikazani i opisani primjeri simuliranih naleta vozila na pješaka, koji su nastavno analizirani primjenom relevantnih metoda za utvrđivanje brzine, a provjera dobivenih rezultata napravljena je putem računalnog programa za simulaciju prometnih nesreća PC Crash.

KLJUČNE RIJEČI: prometne nesreće, nalet na pješaka, brzina naleta, simulacije, PC Crash

SUMMARY

This research analyzes the basic physical laws related to the vehicle-pedestrian collision. The type of collisions and kinematics of vehicle-pedestrian collisions are described, as well as statistics relevant to pedestrian related traffic accidents. Vehicle speed at the time of vehicle-pedestrian collision is one of the key factors for quality of traffic accident reconstruction. The purpose of this research is to show the different methods used to determine the speed of a vehicle in a vehicle-pedestrian collision and their reliability depending on the circumstances of a traffic accident. In the research are presented and described examples of simulated vehicle-pedestrian collisions, which are subsequently analyzed using the relevant speed determination methods, and obtained results are verified through the PC Crash simulation program.

KEY WORDS: traffic accidents, vehicle-pedestrian collision, collision speed, simulation, PC Crash

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. NALET NA PJEŠAKA	3
2.1. Vrste naleta na pješaka	3
2.1.1. Potpuni frontalni nalet vozila na pješaka	4
2.1.2. Djelomični frontalni nalet vozila na pješaka	5
2.1.3. Bočno okrznuće vozila i pješaka	6
2.1.4. Pregaženje pješaka	6
2.2. Kinematika naleta vozila na pješaka.....	6
2.2.1. Nalet vozila klinastog oblika	8
2.2.2. Nalet vozila pontonskog oblika	8
2.2.3. Nalet vozila sandučastog oblika	9
2.3. Odbačaj pješaka prilikom naleta vozila	9
2.3.1. Uzdužni odbačaj pješaka	10
2.3.2. Poprečni odbačaj tijela pješaka	11
2.3.3. Uzdužno poprečno klizanje tijela pješaka	11
2.3.4. Daljina nabacivanja tijela pješaka na vozilo	11
2.3.5. Pad brzine vozila uslijed naleta na pješaka	12
3. STATISTIČKA ANALIZA PROMETNIH NESREĆA S PJEŠACIMA	13
3.1. Analiza prometnih nesreća s pješacima u RH	14
3.2. Analiza prometnih nesreća s pješacima u EU.....	20
4. METODE ODREĐIVANJA BRZINE VOZILA PRI NALETU NA PJEŠAKA	25
4.1. Očevid prometnih nesreća	27
4.2. Određivanje brzine na temelju tragova kočenja	29
4.3. Određivanje brzine na temelju duljine odbačaja pješaka	33
4.4. Određivanje brzine naleta na temelju oštećenja na vozilu i ozljeda pješaka.....	35
4.5. Određivanje brzine naleta prema daljini odbačaja čestica vjetrobranskog stakla	38
4.6. Određivanje brzine na temelju odbačaja predmeta.....	41
4.7. Očitavanje brzine s tahografa	42
4.8. Očitavanje brzine iz EDR uređaja	43
5. USPOREDBA RAZLIČITIH METODA ZA ODREĐIVANJE BRZINE VOZILA PRI NALETU NA PJEŠAKA.....	46

5.1. Nalet dostavnog vozila Renault Trafic na lutku (dijete).....	46
5.2. Osobno vozilo Hyundai Accent i lutka I	49
5.3. Osobno vozilo Hyundai Accent i lutka II	53
5.4. Evaluacija dobivenih rezultata.....	56
6. ANALIZA NALETA NA PJEŠAKA PRIMJENOM PROGRAMSKOG ALATA PC CRASH	58
6.1. Nalet dostavnog vozila Renault Trafic na lutku (dijete).....	62
6.2. Osobno vozilo Hyundai Accent i lutka I	66
6.3. Osobno vozilo Hyundai Accent i lutka II	71
7. ZAKLJUČAK.....	75
LITERATURA:	77
POPIS SLIKA:.....	79
POPIS TABLICA:	80
POPIS GRAFIKONA:	80

1. UVOD

Prometne nesreće predstavljaju jedan od najvećih uzroka smrti u svijetu, a nalet vozila na pješaka jednu od najčešćih vrsta prometnih nesreća. Pješaci su nezaštićeni i ranjivi sudionici prometa koji zbog mase i brzine vozila u kontaktu s njim teško, a često i smrtno stradaju.

Određivanje brzine vozila pri naletu na pješaka je jedna od najbitnijih stavki kod analize tog tipa prometnih nesreća. Točno i precizno određivanje brzine od iznimnog je značaja za sudske i upravne postupke, ali i samo razumijevanje i uspješnu rekonstrukciju onoga što se dogodilo.

Naziv ovog diplomskog rada je Metode definiranja brzine vozila pri naletu na pješaka. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Nalet na pješaka
3. Statistička analiza prometnih nesreća s pješacima
4. Metode određivanja brzine vozila pri naletu na pješaka
5. Usporedba različitih metoda za određivanje brzine vozila pri naletu na pješaka
6. Analiza naleta na pješaka primjenom programskih alata
7. Zaključak

U drugom poglavlju definiran je pojam naleta na pješaka i opisane su vrste naleta vozila na pješaka: frontalni nalet, bočno okrznuće i pregaženje tijela pješaka. Opisane su specifičnosti i kinematika svake vrste naleta te povrede odnosno dijelovi tijela pješaka koji najčešće stradavaju u takvom obliku prometne nesreće. U istom poglavlju prikazano je i kretanje pješaka prilikom procesa naleta i odbačaja s obzirom na oblik prednjeg dijela vozila.

U trećem poglavlju statistički je analiziran napredak na području smanjivanja broja žrtava prometnih nesreća vezanih uz pješake. Za Republiku Hrvatsku fokus je smješten na nesreće s nastradalim pješacima u razdoblju od 2014. – 2018. godine kako bi se dobio jasniji uvid u napredak koji je Republika Hrvatska ostvarila po pitanju poboljšavanja sigurnosti i smanjivanju broja poginulih u prometnim nesrećama i sukladno donesenom Nacionalnom programu sigurnosti cestovnog prometa. U poglavlju su također analizirane i prometne nesreće s pješacima na području cijele Europske unije kao šireg međunarodnog entiteta unutar kojeg se i naša država razvija za razdoblje od 2013. – 2017. godine.

Četvrto poglavlje odnosi se na metode utvrđivanja brzine vozila pri naletu na pješaka. Brzina pješaka je manje značajna i teško ju je precizno utvrditi, ali određivanje brzine vozila

je jedna od najbitnijih stavki prilikom rekonstrukcije prometne nesreće. Postoje različite metode utvrđivanja brzine, a u ovom poglavlju biti će objašnjene najvažnije:

- određivanje brzine na temelju tragova kočenja,
- određivanje brzine na temelju duljine odbačaja pješaka
- određivanje brzine na temelju oštećenja na vozilu i ozljeda pješaka
- određivanje brzine na temelju daljine odbačaja čestica vjetrobranskog stakla
- očitavanje brzine s tahografa
- očitavanje brzine iz EDR uređaja.

Na temelju crash testova koji su izvedeni od strane Zavoda za prometno tehnička vještačenja na Fakultetu prometnih znanosti gdje je simuliran nalet vozila na pješaka, u petom poglavlju će se izvršiti primjena metoda koje su u prethodnom poglavlju navedene te će se analizirati i komentirati primjenjivost pojedine metode kao i dobiveni rezultati.

Osim klasičnih metoda utvrđivanja brzine vozila, u današnjem tehnološkom svijetu, postoje i računalni programi za simulaciju prometnih nesreća i njihova važnost i razlike su prikazane u šestom poglavlju. Za razliku od klasičnih metoda, programski alati uzimaju u obzir sve relevantne parametre i sadrže module za vizualizaciju provedenih simulacija čime je omogućen vizualni prikaz kretanja pješaka od trenutka naleta, pa sve do zaustavljanja. U poglavlju je prikazan princip rada programske paketa za analizu prometnih nesreća PC Crash i izvedene su simulacije na temelju podataka dobivenih putem crash testova provedenim od strane Zavoda za prometno – tehnička vještačenja.

2. NALET NA PJEŠAKA

Pješačenje je najrasprostranjeniji, ali i jedan od najekonomičnijih načina ljudskog kretanja. Pješak nije ometan ograničenjima i ima puno veću pokretljivost od ostalih sudionika prometa – može spontano mijenjati smjer, kretati se uskim ulicama nedostupnim vozilima, penjati stepenicama i koristiti pothodnike. Pješakom se smatra svaka osoba koja se nalazi izvan motornog vozila na cesti i ne obavlja radove na njoj. To uključuje i osobe u invalidskim kolicima bez motora, ljude koji guraju dječja kolica ili bicikl, osobe koje se voze na koturaljkama i skateboardu i slično, [1].

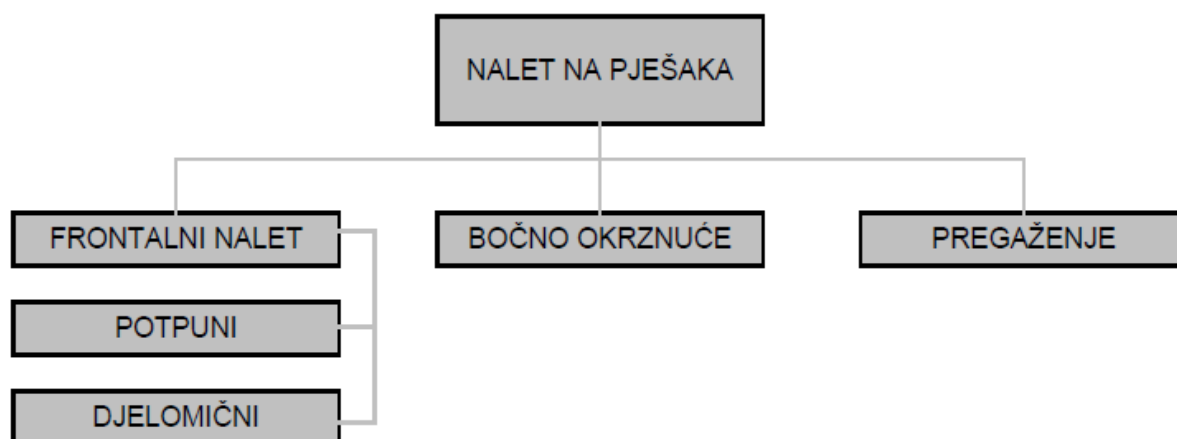
Unatoč prednostima i nesputanosti kretanja, pješaci se smatraju i najranjivijim sudionicima prometa. Za razliku od vozača automobila koji se kreću većim brzinama i zaštićeni su pojasevima, zračnim jastucima, ali i samom strukturom vozila koje apsorbira udarce, pješaci nemaju nikakvu zaštitu i pri naletu vozila većinom pravilu teško stradavaju. Zadnjih godina problem sigurnosti pješaka je posebno prepoznat i sustavno se istražuje na globalnoj razini. Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) iz 2013. godine preko 270 000 pješaka godišnje izgubi život na cestama na svjetskoj razini što bi činilo 22% ukupnih žrtava cestovnog prometa (1 240 000 godišnje), [2].

2.1. Vrste naleta na pješaka

Sudar vozila i pješaka predstavlja jedan od najčešćih oblika prometnih nesreća. Naletom na pješaka podrazumijeva se svaki kontakt tijela pješaka s vozilom koje je u pokretu. Pri tome nije bitno je li vozilo udarilo u pješaka prednjom ili bočnom stranom ili je pješak naletio na bočnu stranu vozila.

Do naleta na pješaka može doći zbog neprilagođenih brzina vozača, ali je često uzrok takvoj vrsti prometnih nesreća i nedisciplinirano ponašanje samih pješaka. Jedne od najčešćih pogrešaka koje pješaci čine su nekorištenje obilježenog pješačkog prijelaza, ignoriranje semafora i nedovoljan oprez prilikom pješačenja. Nažalost, i pogreške vozača i pogreške pješaka imaju puno dalekosežnije i opasnije posljedice za pješaka nego za vozača i vozilo kojim upravlja.

Prema vrsti naleta, nalet vozila na pješaka može se podijeliti na frontalni nalet, bočno okrznuće i pregaženje. Frontalni nalet se nastavno dijeli na potpuni frontalni nalet i na djelomični frontalni nalet. Na slici 1. prikazana je navedena podjela.



Slika 1. Vrste naleta na pješaka, [3]

2.1.1. Potpuni frontalni nalet vozila na pješaka

Kod potpunog frontalnog naleta vozila na pješaka, tijelo pješaka se u potpunosti nalazi ispred vozila, a unutar gabarita vozila. U trenutku kontakta s vozilom tijelo pješaka poprima naletnu brzinu vozila.

Većina prometnih nesreća naleta vozila na pješake uslijedila je u toku kočenja vozila zbog čega su i gotovo sva istraživanja u vezi takve vrste prometnih nesreća vršena u trenutku dok vozilo koči. Kod naleta kočenog vozila na pješaka, postoje tri faze na koje se taj nalet može podijeliti. Prvu fazu čini kontakt vozila s tijelom pješaka, nabacivanje tijela na vozilo i nošenje pješaka vozilom. U drugoj fazi tijelo pješaka se odvaja od vozila i leti kroz zrak dok ne dodirne podlogu kolnika. Treću fazu naleta čini klizanje tijela pješaka kolnikom do trenutka kada se ono, zbog trenja u dodiru s podlogu, zaustavi.



Slika 2. Potpuni frontalni nalet vozila na pješaka, [4]

Pri naletu vozila na pješaka, primarne i sekundarne ozljede čine najbrojniji i najteži dio ukupnih ozljeda koje tijelo pješaka dobiva u toku prometne nesreće i na osnovi takvih ozljeda moguće je odrediti i približnu brzinu vozila u trenutku naleta na tijelo pješaka. Nakon odbačaja tijela pješaka od vozila, u trenutku kada tijelo pješaka dodirne podlogu kolnika i prilikom klizanja kolnikom, na tijelu pješaka nastaju dodatne ozljede koje su u pravilu mnogo lakše ozljede od primarnih i sekundarnih (tercijarne ozljede). Prilikom određivanja brzine na temelju daljine odbačaja tijela pješaka potrebno je obratiti pažnju na to je li vozilo kočilo u trenutku naleta na pješaka. I kod kočenog i kod ne kočenog vozila, tijelo pješaka je nakon prvog kontakta s vozilom nabačeno na vozilo. Razlika je u tome što kod ne kočenog vozila tijelo pješaka ostaje na vozilu sve dok ne započne kočenje, a od tog se trenutka tijelo pješaka odvaja od vozila na isti način kao i kod naleta kočenog vozila te pada na kolnik ispred vozila. Zbog toga je odbačaj tijela pješaka kod ne kočenog vozila veći nego što bi bio da je vozilo kočilo u trenutku naleta na tijelo pješaka. Jedino u slučajevima kada je intenzitet kočenja vozila slab, tijelo pješaka može ostati na vozilu do zaustavljanja vozila.

2.1.2. Djelomični frontalni nalet vozila na pješaka

Za djelomični frontalni nalet na pješaka karakteristično je da se oštećenja na prednjem dijelu vozila nalaze samo na krajnjem lijevom ili desnom dijelu, zavisno od toga s kojom je stranom vozila tijelo pješaka došlo u kontakt. Nakon kontakta s vozilom dolazi do rotiranja tijela pješaka oko svoje uzdužne osi uz bok vozila pri čemu nastaju oštećenja na bočnoj strani vozila i u predjelu prednjeg blatobrana.

Postoje tri vrste djelomičnog frontalnog naleta: ulazni djelomični frontalni nalet, djelomični frontalni nalet u pravcu i izlazni djelomični frontalni nalet.

Kod ulaznog djelomičnog frontalnog naleta, pješak dolazi do vozila sa strane i bude zahvaćen prednjim dijelom vozila, najčešće samo u nogu koja je u iskoraku. Tijelo pješaka od vozila dobiva takozvanu obodnu brzinu rotacije koja može biti gotovo jednaka naletnoj brzini vozila, ali je kod ovakve vrste naleta, odbačaj pješaka znatno manji nego kod potpunih frontalnih naleta.

Kod djelomičnog frontalnog naleta u pravcu vozila krajnjim prednjim dijelom zahvaća dio tijela pješaka koji stoji na kolniku ili se kreće prema vozilu odnosno u susret nailazećem vozilu. Djelomični frontalni nalet u pravcu kinematikom je sličan djelomičnom ulaznom naletu, ali razlikuje se po tome što pri takvim vrstama naleta može doći i do djelomičnog nabacivanja tijela pješaka na vozilo. To se može prepoznati po tragovima i oštećenjima duž gornje strane prednjeg blatobrana vozila.

Za izlazni djelomični frontalni nalet značajno je da, prilikom naleta vozila, pješak dolazi do vozila sa strane i do trenutka naleta uspijeva gotovo potpuno proći ispred prednjeg dijela vozila. Nakon kontakta s vozilom, tijelo pješaka dobiva samo djelomičnu rotaciju oko svoje uzdužne osi i ne može više doći u kontakt s bočnom stranom vozila, [3].

2.1.3. Bočno okrznuće vozila i pješaka

Bočnim okrznućem smatra se svaki nalet na pješaka pri kojem tijelo pješaka dolazi u kontakt isključivo sa bočnom stranom vozila nakon što je prednji dio vozila već prošao kraj njega. Nakon kontakta s vozilom tijelo pješaka uvijek bude odbačeno prema naprijed i u stranu, a zaustavlja se iza linije zaustavljanja prednjeg dijela vozila.

Do bočnog okrznuća najčešće dolazi kada se pješak kreće prema vozilu sa strane i, nakon što je prošao pokraj njega, prednji dio vozila dolazi u kontakt s njegovom bočnom stranom. Do bočnog okrznuća može doći i kada se pješak kreće istim smjerom ili dolazi vozilu u susret paralelno sa smjerom kretanja vozila. Pod određenim okolnostima, iznimno može doći do bočnog okrznuća i kada pješak stoji.

Intenzitet i trajanje kontakta pješaka s bočnom stranom vozila u velikoj mjeri ovisi o brzini kretanja pješaka.

2.1.4. Pregaženje pješaka

Pregaženje predstavlja vrstu prometne nesreće u kojoj vozilo barem jednim kotačem prelazi preko ili iznad tijela pješaka koji leži na kolniku.

Prema obliku nastajanja, postoje dva oblika pregaženja: jednostavno i složeno pregaženje. Jednostavno pregaženje nastaje bez prethodnog naleta vozila na pješaka. U trenutku nailaska vozila, pješak se već nalazi u ležećem položaju na kolniku i vozilo ga samo pregazi. Složeno pregaženje nastaje nakon odbačaja pješaka uzrokovanog naletom vozila na pješaka kada je pješak pregažen istim ili nekim drugim nailazećim vozilom.

U trenutku gaženja tijelo pješaka se pod djelovanjem težine vozila deformira i nastaje kosina po kojoj se blokirani kotač penje i bez poteškoća prelazi preko tijela. Kod izrazito niskog donjeg dijela vozila i malih kotača može doći do uklještenja tijela pješaka ispod prednjeg dijela vozila. U takvim slučajevima ne dolazi do pregaženja, ali zbog gnječenja i guranja tijela također dolazi do teških ozljeda pješaka.

2.2. Kinematika naleta vozila na pješaka

Na kinematiku naleta vozila na pješaka općenito utječu način i brzina kretanja vozila, način i brzina kretanja pješaka i oblik vozila i dijelovi vozila s kojima je tijelo pješaka u kontaktu.

Gibanje pješaka tijekom procesa naleta i odbačaja je složena pojava koja ovisi o nizu faktora:

- obliku profila prednjeg dijela vozila
- dimenzijama, masi i veličini brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pješaka

- svojstvima čvrstoće strukture dijela vozila kojim je pješak udaren
- položaju tijela pješaka u odnosu na širinu prednjeg dijela vozila
- pravcu, smjeru i brzini kretanja pješaka u trenutku naleta
- visini, težini i položaju težišta pješaka
- karakteristikama podloge na koju je tijelo pješaka odbačeno, [3].

Općenito gledajući, svaki nalet vozila na pješaka može se podijeliti u tri faze i to:

1. nabacivanje tijela pješaka na vozilo i nošenje na vozilu - ovisi o brzini vozila u trenutku naleta, obliku vozila, visini pješaka i intenzitetu kočenja
2. let odbačenog tijela pješaka do dodirivanja kolnika - ovisi o brzini vozila u trenutku odvajanja tijela pješaka i daljini nabacivanja tijela na vozila
3. klizanje odbačenog tijela pješaka po podlozi kolnika - ovisi o vrsti i stanju podloge, vrsti odjeće pješaka, brzini tijela u trenutku dodirivanja podloge i eventualnim zaprekama na podlozi, [3].

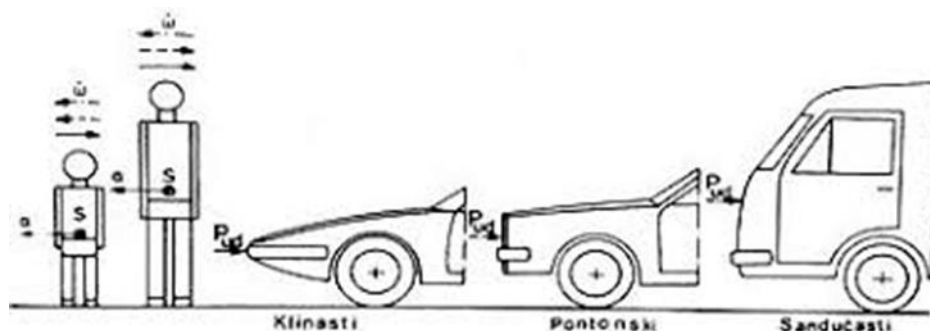
Krutost i sama struktura konstrukcije vozila te velika razlika u masama i brzinama vozila i pješaka u naletu vozila na pješaka uglavnom rezultiraju teškim ozljedama pješaka, a nerijetko i smrtnim posljedicama. Pri takvoj vrsti nesreće pješak zadobiva ozljede prenošenjem deformacijske energije utrošene prilikom samog naleta, ali i ozljede pri padanju na kolnik. Na težinu ozljeda i ishod prometne nesreće naleta vozila na pješaka izravan utjecaj ima oblik prednjeg dijela vozila. Kratak prednji dio karoserije vozila i široko vjetrobransko staklo mogu značajno zaštititi pješaka od fatalnih ozljeda. Također, vidljivo je značajno smanjenje svih ozljeda na tijelu pješaka pri brzinama ispod 30 km/h kod svih vrsta vozila.

U kontekstu strukture ozljeda, 60 % fatalnih ishoda uzrokovano je ozljedama glave, a 17,3% odnosi se na sam kontakt tijela pješaka s poklopcem motora vozila. Ozljede glave na poklopcu motora čine 26,9%, a na vjetrobranskom staklu 19%. Što je brzina vozila u trenutku naleta veća, putanja glave se približava gornjoj strani vjetrobranskog stakla ili samom okviru stakla, ovisno o obliku prednjeg dijela i veća je vjerojatnost za teške ozljede i smrtni ishod. Što se tiče ozljeda na prednjem rubu poklopca motora, 21,2% odnosi se na ozljede bedra i zdjelice, a čak 42,6% na ozljede nogu, [5].

Pri svakoj analizi prometne nesreće potrebno je imati u vidu tip i veličinu vozila, brzinu vozila, stupanj kočenja vozila te visinu tijela pješaka odnosno položaj težišta njegovog tijela. Sve navedeno predstavlja bitne elemente za kinematiku naleta i odbacivanje i način pada tijela pješaka na kolnik, ali i na raspored oštećenja na vozilu i ozljeda na tijelu pješaka.

Vrste oblika prednjeg dijela vozila u pravilu se mogu svrstati u tri osnovna oblika:

- Klinasti oblik vozila
- Pontonski oblik vozila
- Sandučasti oblik vozila



Slika 3. Utjecaj oblika prednjeg dijela vozila na kinematiku pješaka, [3]

Na slici 3. grafički su prikazani oblici prednjeg dijela vozila zajedno sa položajima težišta tijela pješaka i položajem rezultirajuće udarne sile u odnosu na oblik vozila.

2.2.1. Nalet vozila klinastog oblika

Klinasti oblik vozila karakterističan je za sportske tipove vozila, ali postaje sve češći i kod ostalih vozila zbog manjeg koeficijenta otpora zraka. Obilježava ga oštar i nisko položen profil prednjeg dijela zbog kojeg prilikom naleta na pješaka prvi kontakt s tijelom pješaka ostvaruje prednji branik vozila. Kod odraslih osoba, prednji branik vozila dolazi u kontakt s potkoljenicom ili koljenim zglobovom, a kod djece s natkoljenicom. U oba slučaja, vozilo udara u mjesto znatno ispod težišta tijela pješaka zbog čega najčešće dolazi do nabacivanja tijela pješaka na vozilo. Iznimka se događa jedino kada su u pitanju vrlo male brzine vozila u trenutku naleta. Tada nema nabacivanja tijela pješaka na vozilo već pješak može pasti na vozilo jer je pri kontaktu s vozilom izbačen iz ravnoteže, [3].

U pravilu, u trenutku naleta vozila na pješaka, zbog udara znatno ispod težišta, dolazi do izbijanja nogu pješaka prema naprijed odnosno u smjeru kretanja vozila i tijelo pješaka dobiva okretni impuls koji se djelomično ili potpuno poništava nabacivanjem tijela pješaka na vozilo. Daljina nabacivanja ovisi o naletnoj brzini vozila, dužini prednjeg dijela vozila i visini odnosno težištu pješaka. Prema tome, pješak može udariti glavom u poklopac motora, u vjetrobransko staklo ili čak prednji dio krova vozila. U trenutku nabacivanja tijela pješaka na vozilo brzina udara glave o vozilo može biti čak do 40% veća od naletne brzine samog vozila. Nakon nabacivanja, tijelo pješaka poprima brzinu vozila i kada vozilo uslijed kočenja počne usporavati, tijelo pješaka se odvaja od vozila, leti kroz zrak i pada na kolnik gdje se zaustavlja trenjem o podlogu kolnika. U trenutku odvajanja, brzina tijela pješaka može biti do 40% manja od naletne brzine vozila.

2.2.2. Nalet vozila pontonskog oblika

Pontonski oblik vozila karakterističan je za većinu osobnih vozila i obilježava ga pravokutni izgled profila prednjeg dijela karoserije kod kojeg visina gornjeg ruba prednjeg dijela iznosi oko 0,9 metara od tla.

Kod naleta vozila pontonskog oblika, prvi kontakt s tijelom pješaka, ako je u pitanju odrasla osoba, ostvaruje se također ispod njegovog težišta, ali za razliku od klinastog oblika, mjesto udara je znatno bliže težištu. Jedina iznimka je nalet vozila na malo dijete gdje vozilo udara iznad težišta njegovog tijela.

Vozilo pontonskog oblika karoserije može udariti u gornji dio potkoljenice, predio koljena ili čak donji dio natkoljenice tijela pješaka i zbog toga je i sama kinetika nabacivanja tijela pješaka na vozilo drugačija nego kod vozila s klinastim oblikom prednjeg dijela. Prilikom udara donji dio potkoljenica i stopala pješaka podvlače se pod prednji branik i vezni lim na kojima će ostati tragovi sudara i koji će uzrokovati ozljede na tim dijelovima tijela pješaka.

Budući da udarna sila kod pontonskog oblika vozila djeluje na tijelo pješaka znatno bliže težištu nego kod vozila klinastog oblika, pri istoj naletnoj brzini kod ovog oblika vozila okretni impuls će biti puno manji nego kod vozila klinastog oblika. Zbog toga će tijelo pješaka biti nabačeno na vozilo samo pri većim naletnim brzinama. Tijek naleta ovog oblika vozila na tijelo pješaka jednak je naletu vozila klinastog oblika, ali u trenutku odvajanja, tijelo pješaka može imati i do 25% manju brzinu od naletne brzine vozila.

2.2.3. Nalet vozila sandučastog oblika

Sandučasti oblik karoserije tipičan je za kombi vozila, autobuse, dostavna, teretna i druga vozila sličnog oblika. Glavna karakteristika takvog oblika vozila je visoko i okomito postavljena prednja strana karoserije vozila.

Pri naletu vozila sandučastog oblika udarna sila djeluje istim intenzitetom na čitavo tijelo pješaka istovremeno zbog čega tijelo pješaka odmah poprima naletnu brzinu vozila.

Za razliku od druga dva oblika vozila, kod naleta vozila sandučastog oblika, tijelo pješaka dobiva takozvani obrnuti okretni impuls i ne dolazi do nošenja tijela vozilom. To se događa zbog toga što se, u trenutku naleta, centar udara nalazi približno u visini (ili kod većih vozila iznad) težišta tijela pješaka. Gornji dio tijela pješaka odbačen je prema naprijed i pred vozilo što kod slabijeg kočenja vozila može dovesti i do gaženja tijela pješaka. Brzina tijela pješaka u trenutku odvajanja od vozila može biti i do 20% manja od naletne brzine vozila, [3].

2.3. Odbačaj pješaka prilikom naleta vozila

Odbačaj tijela pješaka od mjesta naleta prema naprijed ovisi o čitavom nizu čimbenika, a dijeli se na tri faze koje su prikazane na slici 4.:

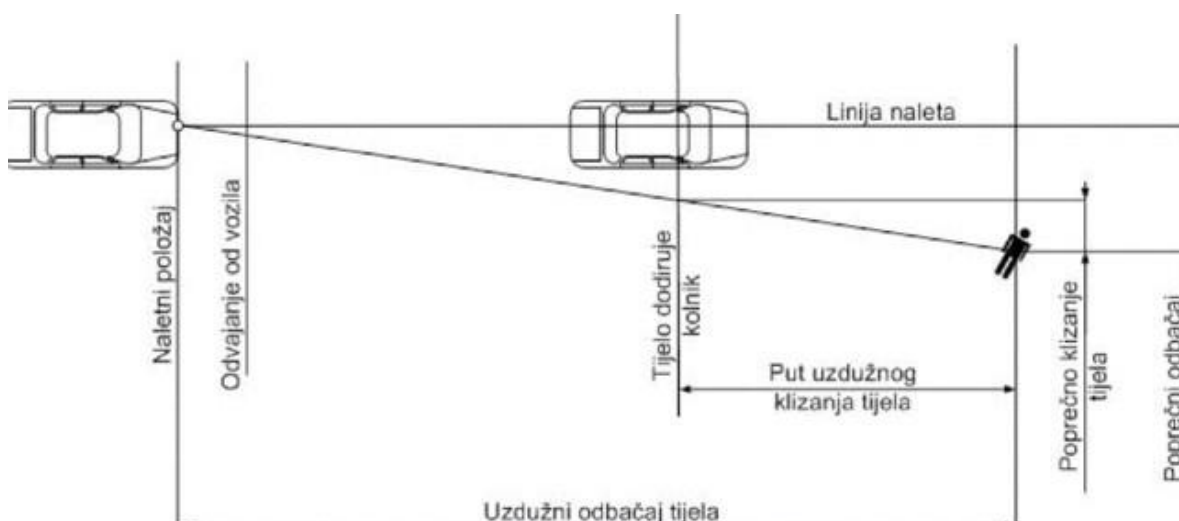
- Nabacivanje tijela pješaka na vozilo i nošenje na vozilu
- Odvajanje tijela pješaka od vozila do dodirivanja kolnika
- Klizanje tijela pješaka kolnikom.

Te tri faze gibanja tijela pješaka definiraju daljinu odbačaja pješaka odnosno horizontalnu udaljenost između položaja mjesta naleta vozila na pješaka i konačnog položaja težišta odbačenog tijela pješaka.



Slika 4. Faze duljine odbačaja pješaka, [3]

Analizama prometnih nesreća naleta vozila na pješaka, a vezano za odbačaj tijela pješaka prilikom naleta, utvrđeno je da su za svaki nalet na pješaka bitni uzdužni i poprečni odbačaj pješaka nakon naleta vozila, put uzdužnog klizanja tijela pješaka te daljina nabacivanja tijela pješaka na vozilo i pad brzine vozila uslijed naleta na pješaka. Tipovi odbačaja grafički su prikazani na slici ispod.



Slika 5. Grafički prikaz elemenata definicije daljine odbačaja i puta klizanja tijela pješaka, [3]

2.3.1. Uzdužni odbačaj pješaka

Duljina uzdužnog odbačaja odnosi se na razmak između mjesta prvog kontakta vozila s pješakom i mjesta gdje se tijelo pješaka nakon naleta konačno zaustavilo. Put odnosno trajanje nabacivanja tijela pješaka na vozilo i nošenja tijela pješaka na vozilu ovisi o naletnoj brzini vozila, obliku vozila, težištu pješaka i intenzitetu kočenja vozila. Duljina leta tijela pješaka kroz zrak ovisi o brzini vozila u trenutku odvajanja tijela i tome koliko daleko je tijelo pješaka bilo nabačeno na samo vozilo. Duljina klizanja tijela kolnikom ovisi o vrsti i stanju podloge, odjeći pješaka, brzini njegovog tijela u trenutku doticaja s kolnikom i eventualnim zaprekama. U trenutku dodirivanja podloge tijelo pješaka ima približno jednaku brzinu onoj koju je imalo kada se odvojilo od vozila i prilikom klizanja podlogom ta brzina se smanjuje uz usporenje od 7-10 m/s².

2.3.2. Poprečni odbačaj tijela pješaka

Poprečni odbačaj pješaka je bočni razmak između položaja pješaka u trenutku kontakta s vozilom i konačnog položaja tijela pješaka nakon naleta. Poprečni odbačaj tijela pješaka ovisi o naletnoj brzini vozila, obliku njegovog prednjeg dijela, mjestu na prednjem dijelu vozila koje je prvo ostvarilo kontakt s tijelom pješaka, visini odnosno položaju težišta pješaka te brzini i pravcu kretanja pješaka.

Poprečni odbačaj raste s naletnom brzinom vozila i brzinom kretanja pješaka i veći je u situacijama kada je tijelo pješaka zahvaćeno dijelom vozila iza sredine prednjeg dijela, gledano u smjeru kretanja pješaka. Na temelju poprečnog odbačaja nije moguće utvrditi brzinu vozila u trenutku naleta na tijelo pješaka.

U slučajevima kada je prednji dio vozila izrazito zaobljen, a tijelo pješaka, gledano u smjeru njegovog kretanja, zahvaćeno prije dolaska do sredine vozila, postoji mogućnost da tijelo pješaka bude poprečno odbačeno u smjeru suprotnom od onog kojim se do tog trenutka kretao.

Ako je pješak zahvaćen vozilom nakon što je prešao sredinu njegovog prednjeg dijela, nije moguće da bude odbačen u suprotnom pravcu od smjera svog kretanja.

2.3.3. Uzdužno poprečno klizanje tijela pješaka

Uzdužno klizanje tijela pješaka je razmak između mjesta prvog kontakta tijela pješaka s podlogom kolnika i konačnog položaja na kojem se tijelo, zahvaljujući sili trenja o podlogu, zaustavilo. Na temelju analiza prometnih nesreća naleta na pješaka, orijentacijski gledano, uzdužno klizanje iznosi prosječno oko trećinu duljine odbačaja, a poprečno klizanje može iznositi čak i do 50% duljine poprečnog odbačaja tijela pješaka.

Nakon odbačaja tijela pješaka od vozila, mjesto njegovog prvog kontakta s kolnikom se rijetko može precizno utvrditi. Duljina klizanja tijela podlogom ovisi o naletnoj brzini vozila i vrsti naleta na tijelo pješaka, o obliku vozila, vrsti i stanju kolnika te o odjeći koju pješak nosi. Kada je u pitanju vozilo sandučastog oblika, duljina klizanja tijela pješaka dvostruko je veća od one kada na pješaka naleti vozilo klinastog oblika budući da u tom slučaju ne postoji nabacivanje tijela pješaka na vozilo već se ono gotovo odmah odvaja od vozila.

U trenutku dodirivanja podloge tijelo pješaka ima približno jednaku brzinu onoj koju je imalo kada se odvojilo od vozila i prilikom klizanja podlogom ta brzina se smanjuje uz usporenje od 7-10 m/s².

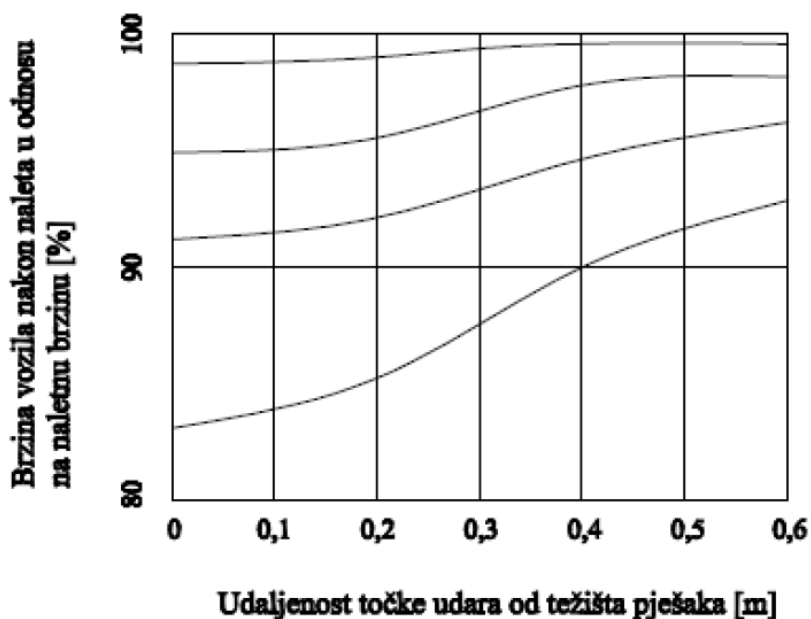
2.3.4. Daljina nabacivanja tijela pješaka na vozilo

Prije određivanja daljine nabacivanja tijela pješaka na vozilo, potrebno je ustanoviti oštećenja na vozilu odnosno utvrditi dijelove tijela pješaka od kojih potječu pojedina

oštećenja na vozilu. Prilikom naleta vozila na pješaka, oštećenja na vozila nastaju isključivo od kontakta s tijelom pješaka odnosno ozljede pješaka su posljedica kontakta s dijelovima vozila na kojima su oštećenja utvrđena. U slučaju malih brzina naleta vozila postoji mogućnost da na tijelu pješaka nastanu lakše, većinom površinske, ozljede bez vidljivih oštećenja na vozilu. Samo u iznimnim situacijama, na vozilu mogu nastati oštećenja, a da na dijelovima tijela pješaka ne ostanu vidljive ozljede, [3].

2.3.5. Pad brzine vozila uslijed naleta na pješaka

Prilikom naleta vozila na pješaka dolazi do uzajamnog međusobnog djelovanja tijela pješaka i vozila. Zbog te činjenice, pri utvrđivanju naletne brzine vozila na pješaka, potrebno je uzeti u obzir i pad brzine vozila do kojeg dolazi uslijed kontakta s tijelom pješaka. Teoretski gledano, energija koju u tijeku naleta vozilo prenosi na tijelo pješaka u potpunosti odgovara gubitku kinetičke energije koju je imalo vozilo. Ipak, u praksi, to vrijedi samo u slučajevima svakog potpunog frontalnog naleta vozila sa sandučastim oblikom prednjeg dijela karoserije i kod naleta vozila pontonskog oblika prednjeg dijela vozila na malu djecu jer tada udarna sila vozila djeluje upravo na težište tijela pješaka i pad kinetičke energije vozila proporcionalan je masi tijela pješaka. U većini slučajeva, vozilo dolazi u kontakt s tijelom pješaka ispod njegovog težišta, pa je i pad kinetičke energije vozila manji što je razmak između točke djelovanja udarne sile vozila i težišta tijela pješaka veći, [3].



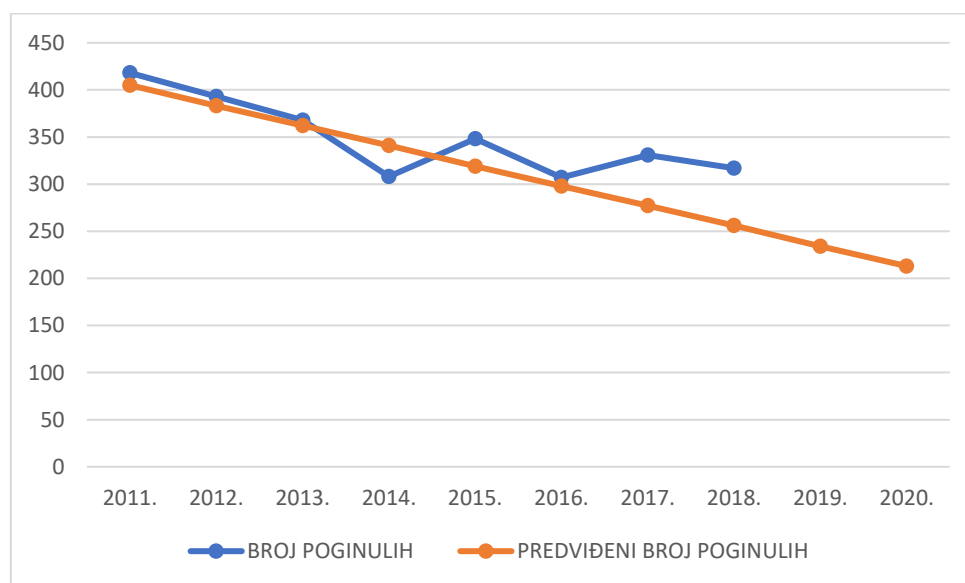
Slika 6. Pad brzine vozila kod naleta na pješaka, [3]

3. STATISTIČKA ANALIZA PROMETNIH NESREĆA S PJEŠACIMA

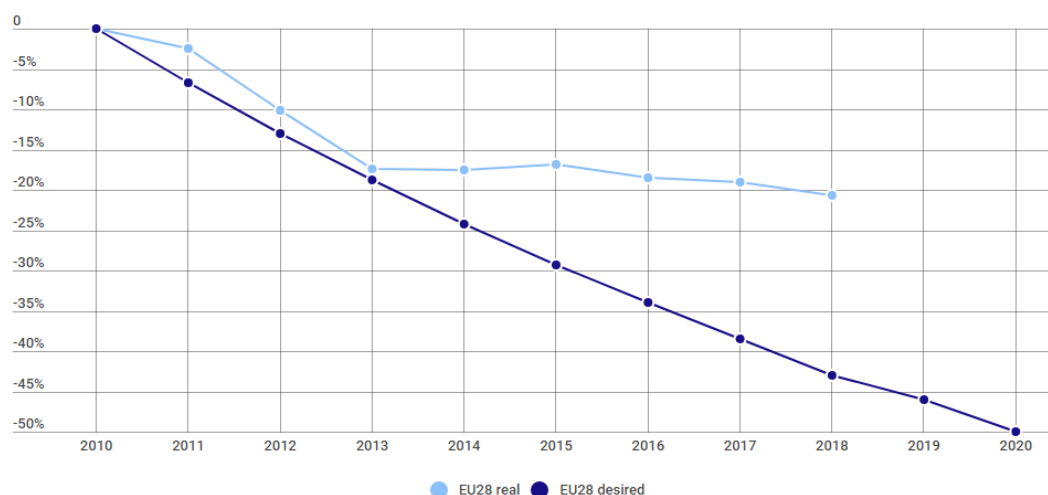
U globalnom smislu, pa tako i u Republici Hrvatskoj prometne nesreće su najveći uzrok smrti ljudi u dobi između 10 i 25 godina. Da bi se smanjilo ljudsko stradavanje i tragedije, pa i materijalni troškovi proizašli iz prometnih nesreća, međunarodne organizacije, ali i vlade država su počele ulagati sve veći napor u poboljšanje prometne infrastrukture i razvoj prometne kulture, [6].

2010. godine Generalna skupština Ujedinjenih naroda proglasila je takozvano „Desetljeće akcije“ s ciljem smanjivanja predviđenog broja žrtava na cestama za 50% do 2020. godine. Time bi se spriječilo 5 milijuna izgubljenih života, broj ozlijeđenih osoba smanjio za 50 milijuna, a samo društvo uštedjelo oko 30 bilijuna dolara. Strategija provedbe tog cilja vrši se kroz izgradnju kvalitetnije prometne infrastrukture, poticanje sigurnijeg ponašanja i prometne kulture, proizvodnju sigurnijih vozila i poboljšavanje kvalitete skrbi nakon prometnih nesreća.

Republika Hrvatska trudi se pratiti internacionalne trendove i strategije kojima bi se postigla stabilizacija i povećala sigurnost cestovnog prometa. 14. travnja 2011. Godine donesen je Nacionalni program sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske koji programski prati rezoluciju „Desetljeće akcije“ Ujedinjenih naroda. Donesen je za razdoblje od deset godina s ciljem smanjenja smrtnog stradavanja i teškog ozljeđivanja u prometu, smanjenja visokih troškova prometnih nesreća te poboljšanja kvalitete života i sigurne i održive mobilnosti. Kao kvantitativni cilj postavljeno je smanjivanje broja poginulih osoba za 50% odnosno na 213 do 2020. godine. Odstupanje stvarnog broja poginulih od predviđanja postavljenih Nacionalnim programom sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske vidljivo je na grafikonu 1., dok je na slici 7. prikazano isto za Europsku uniju.



Grafikon 1. Prikaz kretanja stvarnog i očekivanog broja poginulih u prometu u RH, [6]



Slika 7. Grafički prikaz kretanja stvarnog i očekivanog broja poginulih u EU, [7]

Zahvaljujući mjerama zaštite i sigurnosti na lokalnoj, državnoj i internacionalnoj razini, Europska unija pokazuje značajan napredak na području sigurnosti cestovnog prometa. Ipak kao što je vidljivo na slici 7. taj napredak je zadnjih godina počeo usporavati ili čak stagnirati. Nakon dvije godine stagnacije (2014. i 2015.), broj poginulih na području Europske unije u 2016. godini se smanjio za 2%. Pad broja poginulih zabilježen je i u 2017. i 2018. godini, ali vidljivo je da je Europska unija još daleko od ostvarivanja ambicioznog cilja smanjivanja broja poginulih za 50 % do 2020. godine i da su potrebni dodatni naponi svih sudionika prometa, ali i nove mjere i strategije koje bi dovele do jačanja prometne sigurnosti, [7].

Unatoč izgradnji novih cesta najviše razine uslužnosti (autoceste i brze ceste) i rekonstrukciji najfrekventnijih državnih cesta te padu broja prometnih nesreća i poginulih i ozlijeđenih osoba, Republika Hrvatska je ipak još daleko od optimalnog cilja postavljenog u Nacionalnom programu.

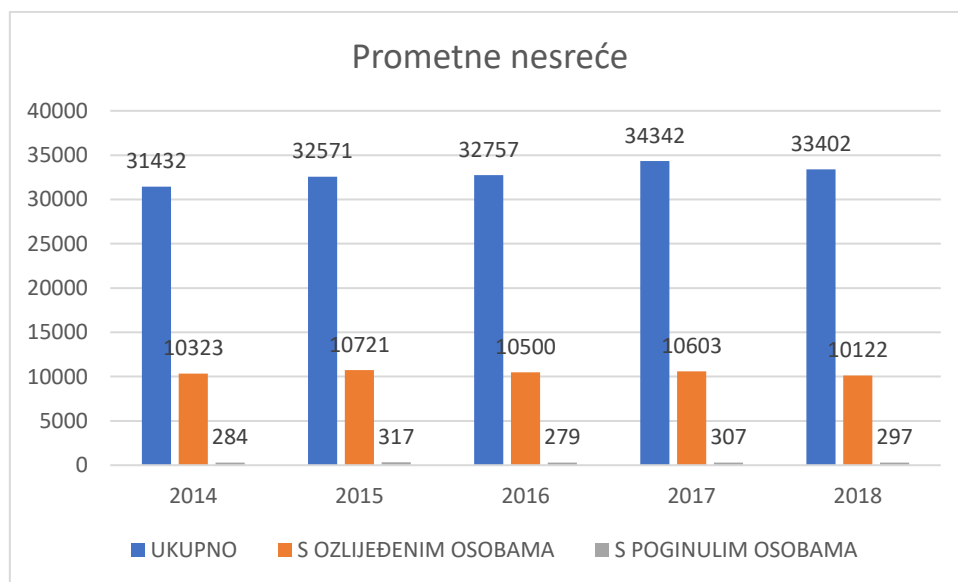
3.1. Analiza prometnih nesreća s pješacima u RH

U zadnjem desetljeću, Europska unija je postigla značajan pomak u smanjenju broja nastradalih u prometnim nesrećama. I Republika Hrvatska se, kao članica Europske unije, trudi sustavno raditi na jačanju prometne kulture i ulaganjima koja bi dovele do veće prometne sigurnosti i smanjila broj nesreća. U promjene i napretke u toj sigurnosti moguće je dobiti uvid preko statističkih podataka i informacija koje Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske svake godine prikazuje u Biltenima o sigurnosti cestovnog prometa. Od 1979. godine do 2018. broj poginulih na sto tisuća stanovnika se smanjio sa 34 na 7,7. U razdoblju od 2009. do 2018. godine na hrvatskim prometnicama dogodilo se 372 879 nesreća pri čemu su život izgubile 3764 osobe. Broj poginulih u istom razdoblju se sa 548 u 2009. smanjio na 317 u 2018. Čak i u odnosu na prethodnu godinu u kojoj je smrtno stradala 331 osoba bilježi se pad od 4,2 %, [6].

Ipak, unatoč smanjenju broja poginulih u odnosu na godine ranije, Republika Hrvatska se još nije približila cilju navedenom u Nacionalnom programu sigurnosti cestovnog prometa prema kojem bi se u razdoblju od 2011. do 2020. broj poginulih trebao prepoloviti i smanjiti na 213.

Prema podacima iz Biltena o sigurnosti cestovnog prometa iz 2018. godine, na hrvatskim se cestama posljednjih deset godina prosječno dogodilo 37 288 prometnih nesreća. U 31,9% prometnih nesreća došlo je do stradavanja odnosno godišnje je u prometu prosječno stradala 16 581 osoba. Od tog broja 79,6% osoba prošlo je s lakšim tjelesnim ozljedama, 18,2% osoba zadobilo je teške tjelesne ozljede, a 2,2% njih je smrtno stradalo (prosječno 376 osoba godišnje), [6].

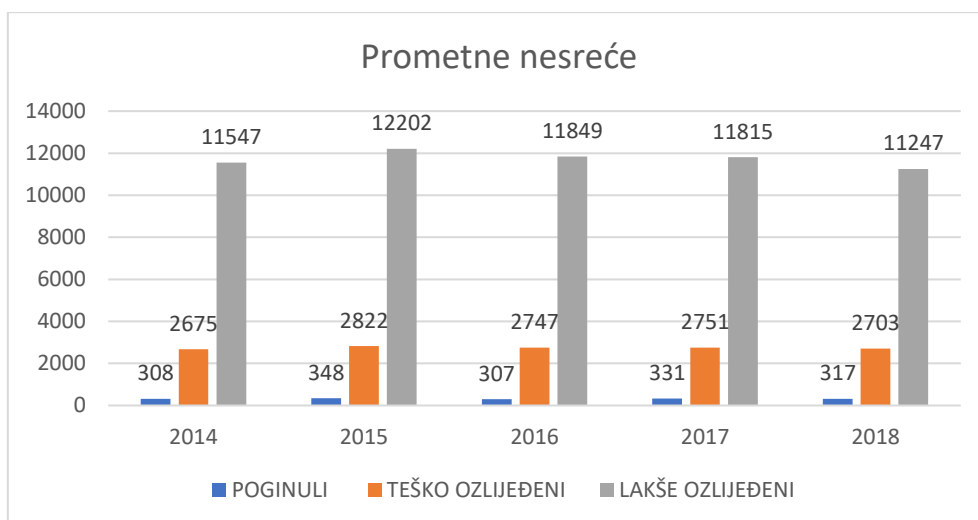
U ovom radu prati se razdoblje između 2014. i 2018. godine i promjene koje je Republika Hrvatska u tom razdoblju ostvarila po pitanju sigurnosti cestovnog prometa. Za mjerodavnu statistiku korišteni su podaci iz Biltena o sigurnosti cestovnog prometa i Pregleda sigurnosnih pokazatelja koje Ministarstvo Republike Hrvatske izdaje svake godine i u kojima se statistički prate svi faktori koji utječu na nastanak prometnih nesreća.



Grafikon 2. Prometne nesreće u RH za razdoblje od 2014.-2018. god.

Izvor: [6]

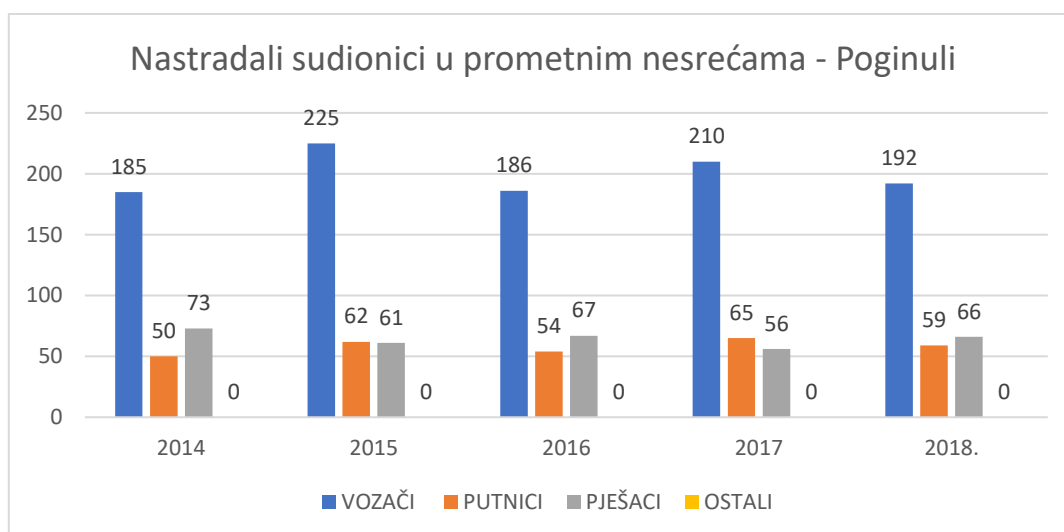
Kao što je prikazano na grafikonu 2., ukupan broj prometnih nesreća za navedenih pet godina ne pokazuje trend smanjivanja već njihov broj neujednačeno varira iz godine u godinu što dokazuje složenost problema sigurnosti prometa na hrvatskim cestama. U 2014. godini ukupno su zabilježene 31 432 prometne nesreće, a u 284 nesreće su smrtno stradale osobe. Već 2015. godine taj broj se povećao za 3,62 %, a i bile su 33 prometne nesreće s poginulim osobama više nego u prethodnoj godini. Ukupan broj prometnih nesreća nastavio je rasti i iduće dvije godine i trend smanjivanja započeo je tek u 2018. godini, ali je i tada iznosio 6,27 % više od ukupnog broja prometnih nesreća u 2014. godini.



Grafikon 3. Broj ozlijeđenih i poginulih osoba u prometnim nesrećama za razdoblje od 2014. - 2018. god.

Izvor: [6]

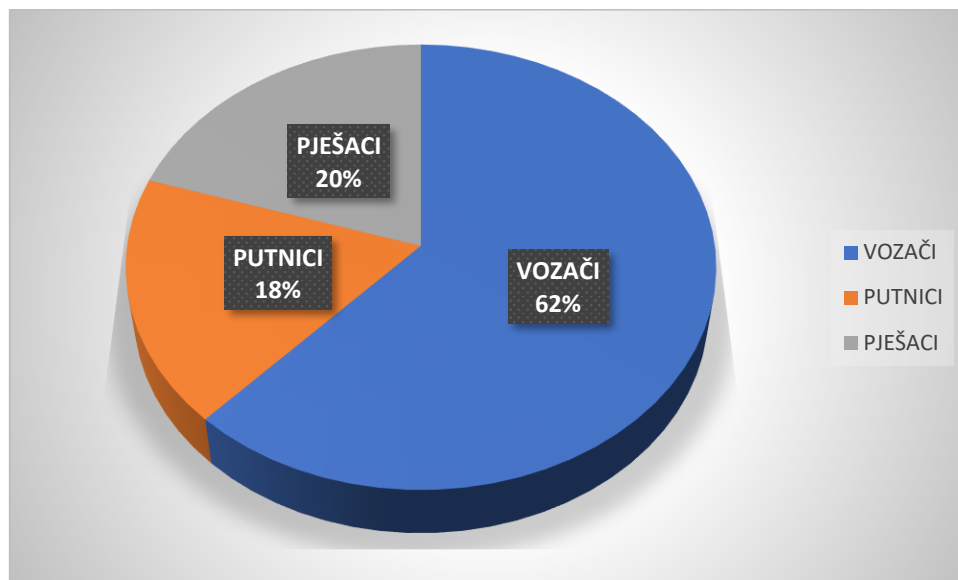
Napredak u sigurnosti cestovnog prometa u Republici Hrvatskoj ne vidi se ni pri analiziranju broja ozlijeđenih i poginulih osoba u prometnim nesrećama u razdoblju od 2014. – 2018. godine. Broj poginulih osoba u prometnim nesrećama također je neujednačen iz godine u godinu. Grafikon 3. prikazuje da je 2014. godine na hrvatskim cestama poginulo je 308 osoba odnosno 33 osobe manje od očekivanog broja poginulih predviđenih Nacionalnim programom sigurnosti cestovnog prometa. U 2015. godini broj poginulih narastao je na 348 osoba odnosno smrtno je stradalo 40 osoba više nego prethodne godine odnosno 28 osoba više od očekivanog broja. Stvarni broj poginulih nastavio je takav negativni trend u odnosu na očekivani broj poginulih i iduće tri godine. 2018. godina pokazuje koliko Hrvatska zaostaje po pitanju smanjivanju rizičnih čimbenika u cestovnom prometu – poginula je 61 osoba više odnosno 23,8 % više osoba nego što je očekivano prema Nacionalnom programu i čak 9 osoba više gledajući 2014. godinu.



Grafikon 4. Broj poginulih u prometnim nesrećama za razdoblje od 2014.-2018. god.

Izvor: [6]

U grafikonu 4. prikazani su sudionici cestovnog prometa i njihov broj u ukupnom broju poginulih po promatranim godinama. Najveći broj poginulih osoba za promatrano razdoblje bio je u svojstvu vozača, a za nijednu prikazanu skupinu sudionika prometa nije vidljiv ujednačen pad u broju poginulih. Iz grafikona je vidljivo da je najviše vozača smrtno stradalo 2015. godine (225), a najviše pješaka poginulo je 2014. godine (73).

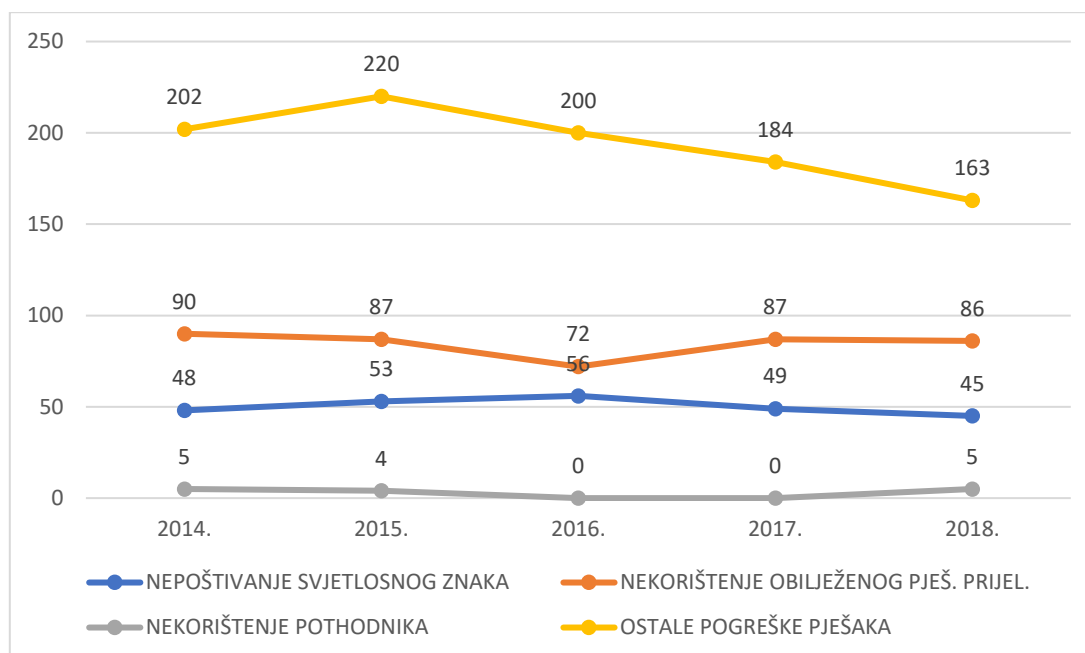


Grafikon 5. Prikaz prosječnog broja poginulih u prometnim nesrećama za razdoblje 2014.-2018. god.

Izvor: [6]

U grafikonu 5. prikazan je prosječan broj poginulih sudionika cestovnog prometa u prometnim nesrećama od 2014. – 2018. godine. Iz njega je vidljivo da je najveći broj poginulih osoba u prometu u svojstvu vozača, čak 62 %, dok je broj poginulih pješaka samo malo veći od broja poginulih putnika u vozilu.

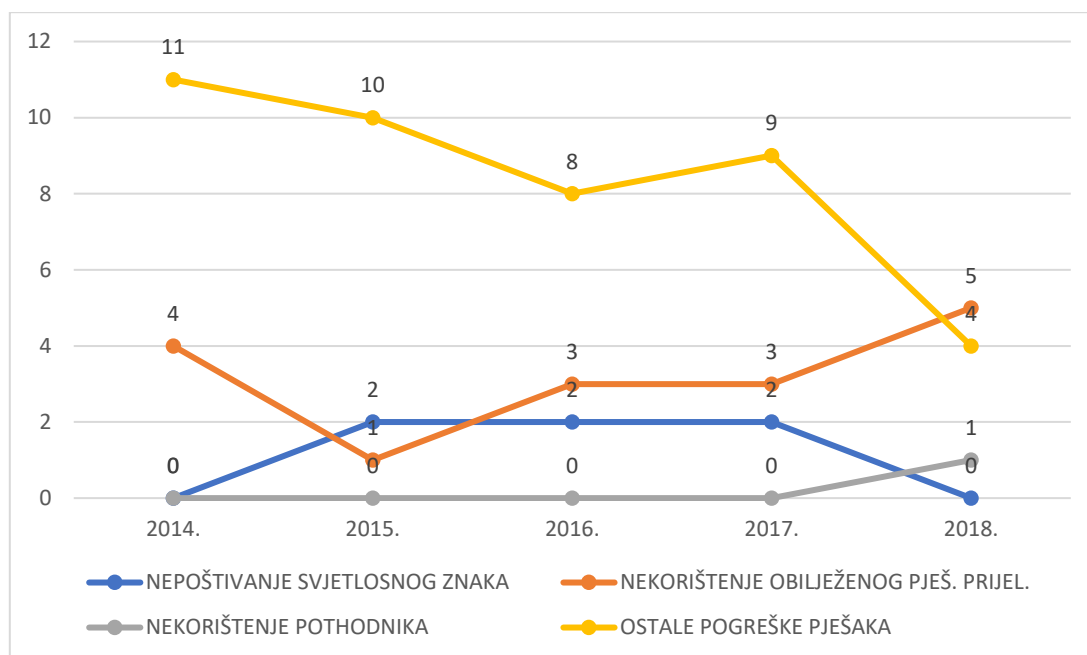
Najčešće pogreške pješaka koje su dovele do nastanka prometne nesreće su nepoštivanje svjetlosnog znaka, nekorištenje obilježenog pješačkog prijelaza i nekorištenje pothodnika. Analizirajući takve prometne nesreće iz grafikona 6 vidljivo je da je nekorištenje obilježenog pješačkog prijelaza najčešća pogreška pješaka koja je prethodila prometnoj nesreći. U 2014. godini takva je pogreška dovela do 90 prometnih nesreća. Broj nesreća uzrokovanih takvom greškom pješaka smanjivao se do 2016. godine kada su na taj način nastale 72 prometne nesreće što je najmanji broj za cijelo analizirano razdoblje. 2017. godine broj je narastao na 87 odnosno na razinu 2015. godine, a u 2018. godini je zbog nekorištenja obilježenog pješačkog prijelaza skrivljeno 86 prometnih nesreća. Nepoštivanje svjetlosnog znaka kao pogreška pješaka 2014. godine bio je uzrok 48 prometnih nesreća. Taj broj nastavio je rasti u 2015. (53) i 2016. godini (56) da bi počeo padati u 2017. (49) i 2018. godini (45). Nekorištenje pothodnika bilo je uzrok najmanjem broju prometnih nesreća. U 2014. godini zbog takve pogreške pješaka dogodilo se 5 prometnih nesreća, a u 2015. godini taj broj se smanjio na 4 prometne nesreće. U 2016. i 2017. godini nije zabilježena niti jedna prometna nesreća uzrokovana na taj način, a 2018. broj tako nastalih prometnih nesreća se vratio na 5.



Grafikon 6. Prometne nesreće uzrokovane pogreškom pješaka za razdoblje od 2014.-2018. god.

Izvor: [6]

Grafikon 7. daje uvid u broj poginulih osoba u prometnim nesrećama nastalim zbog pogrešaka pješaka za razdoblje od 2014. – 2018. godine. Pogreške pješaka uzrokuju ne samo višestruko manji broj prometnih nesreća od pogrešaka vozača već i daleko manji broj poginulih osoba. Pogreške pješaka dovode u najveću opasnost same pješake jer će oni, u kontaktu s krutom strukturom vozila, gotovo uvijek teže, a nerijetko i smrtno nastradati. Najčešće pogreške pješaka koje su dovele do smrtno stradalih osoba se razlikuju u analiziranom razdoblju. 2014. godine zbog nekorištenja obilježenog pješačkog prijelaza poginule su 4 osobe, a nekorištenje pothodnika i nepoštivanje svjetlosnog znaka kao pogreške pješaka nisu bili uzrok niti jednoj smrti. 2015. godine broj poginulih zbog nekorištenja obilježenog pješačkog prijelaza se smanjio na 1, ali je zato iste godine broj poginulih zbog nepoštivanja svjetlosnog znaka narastao na 2 smrtno stradale osobe. 2016. i 2017. godine broj poginulih zbog nepoštivanja svjetlosnog znaka je nastavio stagnirati dok su zbog nekorištenja obilježenog pješačkog prijelaza u obje godine smrtno stradale po 3 osobe. 2018. godine zbog nekorištenja obilježenog pješačkog prijelaza život je izgubilo 5 osoba što je najveći broj u promatranom razdoblju. Zbog nepoštivanja svjetlosnog znaka nije poginula niti jedna osoba, ali je zato zbog nekorištenja pothodnika prvi put u analiziranom razdoblju smrtno stradala jedna osoba. Zbog ostalih grešaka pješaka, u 2014. godini smrtno je stradalo 11 osoba, a godinu poslije taj se broj smanjio na 10. Broj poginulih nastavio je padati i u 2016. godini kada je zbog ostalih grešaka pješaka poginulo 8 osoba. u 2017. godini na takav način život je izgubilo 9 osoba, a 2018. godine broj se prilično smanjio i poginule su 4 osobe.



Grafikon 7. Poginuli u prometnim nesrećama koje su uzrokovane pogreškom pješaka za razdoblje od 2014.-2018. god.

Izvor: [8]

Tablica 1. Dobna struktura poginulih i ozlijeđenih pješaka u 2018. godini

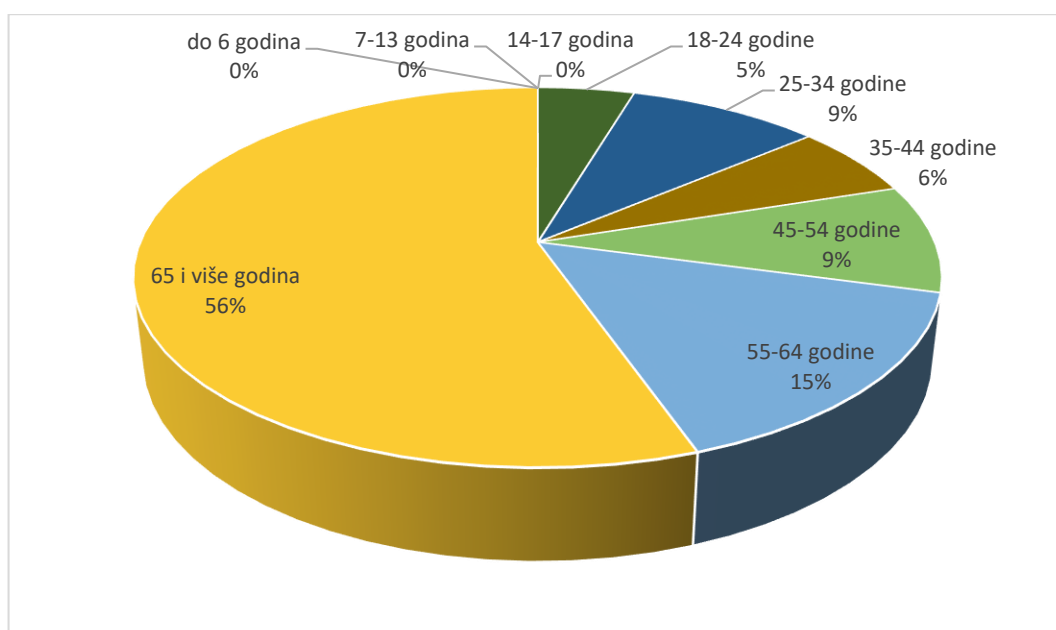
DOB PJEŠAKA	POGINULI		OZLIJEĐENI			
	UKUPNO	%	TEŽE	%	LAKŠE	%
NEPOZNATO	-	-	-	-	-	-
do 6 godina	-	-	14	3,29%	43	4,32%
7-13 godina	-	-	44	10,33%	144	14,46%
14-17 godina	-	-	25	5,87%	103	10,34%
18-24 godine	3	4,62%	30	7,04%	124	12,45%
25-34 godine	6	9,23%	22	5,16%	92	9,24%
35-44 godine	4	6,15%	26	6,10%	79	7,93%
45-54 godine	6	9,23%	41	9,62%	98	9,84%
55-64 godine	10	15,38%	55	12,91%	103	10,34%
65 i više godina	36	55,38%	169	39,67%	210	21,08%
UKUPNO	65	100,00%	426	100,00%	996	100,00%

Izvor: [6]

Gledajući dobnu strukturu poginulih i ozlijeđenih pješaka u 2018. godini prikazanu na tablici 1. vidljivo je da je najviše smrtno stradalih osoba u kategoriji od 65 i više godina. Ta dobna skupina prednjači i po pitanju težih i lakših ozljeda zbog čega ju se opravdano može smatrati najugroženijom skupinom pješaka. U analiziranom razdoblju ukupno je poginulo pješaka od 65 i više godina odnosno zabrinjavajućih 55,38% od ukupnog broja poginulih pješaka u prometu. Iz te dobne skupine zabilježeno je 169 teško ozlijeđenih i 210 lakše ozlijeđenih pješaka. Značajno je i da se u 2018. godini nije dogodio nijedan smrtni slučaj

maloljetnika odnosno osoba do 17 godina. Ipak, prilično je velik postotak teško ozlijeđene (3,29%) i lakše ozlijeđene djece do 6 godina (4,32%) posebno kada se uzme u obzir činjenica da je to dobna skupina koja još uvijek ne pohađa školu i zbog ranjivosti bi uvijek trebala biti pod nadzorom odnosno ne biti izložena prometnim rizicima. Gledajući maloljetne osobe odnosno dobne skupine do 17 godina, vidljiv je visok postotak u ukupnom broju lakše ozlijeđenih osoba (čak 29,12%).

Grafikon 8. prikazuje dobnu strukturu poginulih pješaka u 2018. godini. Iz njega je vidljivo da je daleko najveći broj smrtno stradalih pješaka bio u dobnoj skupini od 65 i više godina (56%) . Sljedeća ugrožena skupina je ona od 55 – 64 godine (15 %), a značajno je i da dobna skupina od 45 – 54 godine i dobna skupina pješaka od 25 – 34 godine zauzimaju jednak udio (9%) u ukupnom broju poginulih pješaka.



Grafikon 8. Dobna struktura pješaka poginulih u 2018. godini

Izvor: [6]

3.2. Analiza prometnih nesreća s pješacima u EU

U zadnjem desetljeću, unutar Europske unije, broj žrtava cestovnog prometa se značajno smanjio i od 2009. godine prometne nesreće su prestale biti glavni uzrok smrti. S prosjekom od 49 žrtava na milijun stanovnika, europske ceste spadaju među sigurnije ceste u svijetu, s obzirom na globalni prosjek od 174 smrtna slučaja na milijun stanovnika.

Broj prometnih nesreća koje uključuju pješake pokušava se smanjiti osiguravanjem širokopojasnih ograničenja brzine, stvaranjem mirnih i neprekidanih pješačkih zona, pravilnim osvjetljavanjem ulica i naselja, radom na strukturi i obliku prednjeg dijela vozila koji bi smanjili ozljede nanesene pri nalijetanju na pješaka, nošenju reflektirajućih prsluka

koju omogućuju lakše uočavanje, radom na senzorima koji bi detektirali pješaka i time ostavili vozaču veću mogućnost da ga izbjegne ili ranije krene kočiti, [9].

Statistički podaci o prometnim nesrećama u Europskoj uniji dobiveni su sa stranica Eurostata. Statistički ured Europskih zajednica (Eurostat) prikuplja i objavljuje statističke podatke iz država članica, država izvan Europske unije te od međunarodnih organizacija kako bi informirao institucije Europske unije i omogućio praćenje učinaka politike Europske Unije.

U tablici 2. prikazan je ukupan broj poginulih osoba u prometnim nesrećama u državama članicama Europske unije u razdoblju od 2013. – 2017. godine. Općenito gledano, u Europskoj uniji kao zajednici nije vidljiv ujednačen trend smanjivanja broja poginulih. 2013. godine na cestama su ukupno smrtno stradale 25 942 osobe, a već 2014. godine taj broj je narastao za 0,1 % i život je izgubilo 25 969 osoba. Trend rasta nastavio se i u 2015. godini za 0,6 % kada su na europskim cestama poginule 26 132 osobe. Ipak u 2016., a zatim i 2017. godini broj poginulih se ipak počeo smanjivati. Iz tablice 2. je također vidljivo da nijedna od zemalja članica ne pokazuje ujednačene promjene po pitanju smanjivanja broja poginulih.

Tablica 2. Broj ukupno poginulih u prometnim nesrećama u zemljama članicama Europske unije za razdoblje od 2013.-2017. god.

	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Europska Unija	25.942	25.969	26.132	25.643	25.257
Belgija	723	727	732	637	615
Bugarska	601	661	708	708	682
Češka	654	688	734	611	577
Danska	191	182	178	211	175
Njemačka	3.339	3.377	3.459	3.206	3.180
Estonija	81	78	67	71	48
Irska	188	193	162	186	157
Grčka	879	795	793	824	731
Španjolska	1.667	1.680	1.689	1.810	1.830
Francuska	3.268	3.384	3.459	3.471	3.444
Hrvatska	368	308	348	307	331
Italija	3.401	3.381	3.428	3.283	3.378
Cipar	44	45	57	46	53
Litva	179	212	188	158	136
Latvija	256	267	242	192	191
Luksemburg	45	35	36	32	25
Mađarska	591	626	644	607	625
Malta	17	10	11	23	19
Nizozemska	476	476	531	533	535
Austrija	455	430	479	432	414
Poljska	3.357	3.202	2.938	3.026	2.831
Portugal	637	638	593	563	602
Rumunjska	1.861	1.818	1.893	1.913	1.951
Slovenija	125	108	120	130	104
Slovačka	251	295	310	275	276
Finska	258	229	270	258	238

Švedska	260	270	259	270	253
Ujedinjeno Kraljevstvo	1.770	1.854	1.804	1.860	1.856
Island	15	4	16	18	16
Lihtenštajn	2	3	-	-	-
Norveška	187	147	117	135	106
Švicarska	269	243	253	216	230

Izvor: [9]

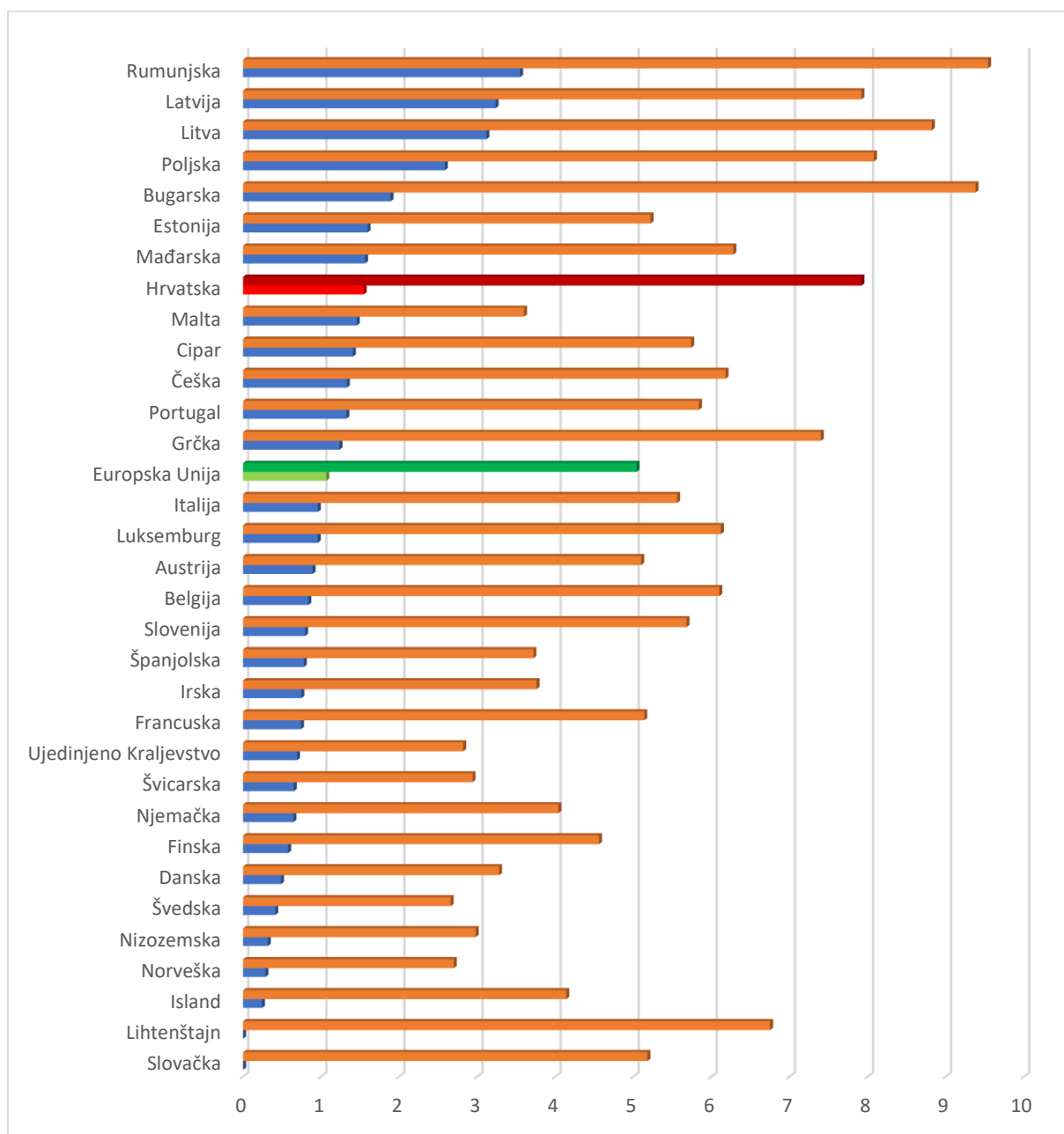
Tablica 3. prikazuje broj poginulih pješaka u zemljama članicama Europske unije za razdoblje od 2013. – 2017. godine. Iz Tablice 3. je vidljiv trend smanjivanja smrti pješaka kada se promatra Europska unija općenito. 2013. Godine na europskim cestama smrtno je stradao 5 681 pješak, 2014. godine taj se broj smanjio za 12 i nastavio se smanjivati da bi 2017. godine pao na 5 063 poginula pješaka odnosno za 12,2 % manje smrtno stradalih pješaka nego u 2013. godini. Gledajući zemlje članice, gotovo nijedna zemlja ne bilježi trend ujednačenog pada broja poginulih pješaka. Iznimka je jedino Poljska gdje je 2013. godine smrtno stradalo 1 140 pješaka i broj se iz godine u godinu nastavio smanjivati. 2017. godine u Poljskoj su poginule 873 osobe odnosno 267 osoba manje nego u 2013. godini, čime je ostvareno smanjenje od oko 30 %.

Tablica 3. Broj poginulih pješaka u zemljama članicama Europske Unije za razdoblje od 2013.-2017. god.

	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Europska Unija	5.681	5.669	5.406	5.297	5.063
Belgija	99	106	92	78	95
Bugarska	108	156	164	118	-
Češka	162	130	150	130	129
Danska	33	22	27	36	20
Njemačka	561	527	545	500	489
Estonija	23	26	24	22	10
Irska	31	42	31	-	-
Grčka	151	125	128	149	118
Španjolska	370	334	367	389	351
Francuska	465	499	466	553	480
Hrvatska	69	73	61	67	56
Italija	551	578	602	570	600
Cipar	8	10	16	14	-
Litva	70	71	63	55	51
Latvija	96	109	81	-	-
Luksemburg	5	3	7	8	4
Mađarska	147	152	149	152	170
Malta	-	-	5	8	-
Nizozemska	51	50	60	44	64
Austrija	82	71	84	73	73
Poljska	1.140	1.116	915	868	873
Portugal	144	145	146	123	130
Rumunjska	726	697	649	717	733

Slovenija	20	14	16	22	10
Slovačka	-	-	-	-	-
Finska	34	36	32	29	27
Švedska	42	52	28	42	37
Ujedinjeno Kraljevstvo	405	464	427	463	485
Island	1	0	1	2	0
Lihtenštajn	-	-	-	-	-
Norveška	18	18	12	15	11
Švicarska	69	43	58	50	47

Izvor: [9]



Grafikon 9. Prosječna stopa ukupno poginulih i poginulih pješaka za razdoblje od 2013.-2017. god.

Izvor: [9]

Na grafikonu 9. prikazana je prosječna stopa ukupno poginulih sudionika prometa i poginulih pješaka na području Europske unije unutar razdoblja od 2013.- 2017. godine. Sa stopom poginulih od 7,88 na 100 000 stanovnika Republika Hrvatska se nalazi pri vrhu zemalja članica Europske unije jer je prosjek Europske unije 5,07 poginulih. Po prosječnoj stopi ukupnog broja poginulih, Republika Hrvatska odgovara Latviji, a ugroženije zemlje su samo Poljska (sa 8,08 poginulih), Litva (sa 8,66 poginulih uz naznaku da nema podataka za 2016. i 2017. godinu), Bugarska (sa 9,28 poginulih uz naznaku da nema podataka za 2017. godinu) i Rumunjska kao najugroženija zemlja Europske unije (sa 9,51 poginulih). Prosječna stopa poginulih pješaka na području Europske unije od 2013. – 2017. godine iznosi 1,07 poginuli pješak na 100 000 stanovnika. Republika Hrvatska se i po tom pitanju nalazi gotovo pri vrhu zemalja članica sa stopom od 1,55 poginulih pješaka. Iz grafikona je vidljivo da je i po pitanju prosječne stope ukupnog broja poginulih i po pitanju prosječne stope poginulih pješaka najmanje sigurna Rumunjska. Prosječna stopa poginulih pješaka u Europskoj uniji od 2013. – 2017. godine iznosi 1,07 poginulih na 100 000 stanovnika.

Prema podacima za 2017. godinu u prometnim nesrećama poginulo je 25 300 ljudi, a više od 135 000 je teško ozlijeđeno. Od toga se 21% svih žrtava prometa odnosio na pješake, najveći dio na dobnu skupinu preko 65 godina.

Statistički gledano, napredak koji je Europska unija ostvarila svojim mjerama i strategijama za povećanje sigurnosti u prometu vidljiv je u Godišnjem izvješću o nesrećama iz 2018. godine u kojem se prati razdoblje od 2007. do 2016. godine. S obzirom na 2007. godinu broj poginulih pješaka je do 2016. godine pao za 39 %. 2007. godine unutar Europske unije smrtno je stradalo 8 655 pješaka, a 2016. taj je broj smanjen na 5 527 poginulih, [9].

4. METODE ODREĐIVANJA BRZINE VOZILA PRI NALETU NA PJEŠAKA

Prilikom rekonstrukcije prometne nesreće vrlo je bitno što pravilnije i preciznije odrediti brzinu svih sudionika kako bi se mogle detaljno razjasniti sve činjenice i ustanoviti mehanizam nastanka nesreće. Jedna od najbitnijih brzina je brzina vozila. Postoji više trenutaka u kojima je bitno odrediti brzinu vozila tokom vještačenja koje se zatim koriste u pravnom postupak za određivanje uzroka prometne nesreće. To su:

- Brzina vozila u trenutku naleta na pješaka;
- Brzina vozila na početku tragova kočenja;
- Brzina vozila u trenutku reakcije vozača;
- Brzina vozila nakon sudara

Svaka brzina vozila je specifična i određuje se na temelju drugačijih formula, što znači da će se iznos pojedinih brzina međusobno razlikovati. Iz toga razloga, potrebno je zasebno proučiti svaku od njih.

Pješaci spadaju u najranjiviju skupinu sudionika prometa. Za razliku od vozača vozila i putnika koji su osigurani zračnim jastucima, pojasom i samom strukturom vozila, pješaci su nezaštićeni i njihova je brzina u odnosu na vozilo u slučaju prometne nesreće neznatna i manje bitna, ali je bitan smjer kretanja i položaj u odnosu na vozilo u trenutku sudara. Vozilo je kruto tijelo koje svojim oblikom u slučaju nesreće pješaku u pravilu čini znatnu štetu i ostavlja ozbiljne posljedice.

Brzinu kretanja pješaka je nemoguće precizno odrediti jer pješak pri kretanju ima mogućnost mijenjanja pravca i brzine, a da pri tome ne ostavi nikakav trag kojim bi se to dokazalo. U vještačenju prometnih nesreća naleta vozila na pješake, osnovna zadaća je utvrditi međusobni položaj sudionika u trenutku stvaranja opasne situacije.

Pri utvrđivanju brzine pješaka vještaci se koriste dokumentacijom iz očevida u kojoj se nalaze podaci i karakteristike sudionika nesreće i već raspoloživim informacijama i tablicama iz prakse u kojima se procjenjuje prosječna odnosno vjerojatna brzina kretanja pješaka.

Brzina kretanja pješaka može se procijeniti prema njegovoj dobi, spolu, zdravstvenom stanju, načinu kretanja i slično. Na temelju detaljnih istraživanja kretnji pješaka dobiveni su rezultati prikazani u tablici 4.

Tablica 4. Brzina kretanja pješaka prema uzrastu i načinu hoda

Kategorija uzrasta pješaka	Spol	Brzina kretanja pješaka (u km/h)				
		Usporeni hod	Normalni hod	Brzi hod	Potrčavanje	Trčanje
1. Djeca od 7 do 8 god.	M	2,7 - 3,9	4,0 - 5,2	5,4 - 6,5	7,2 - 10,4	11,2 - 13,0
	Ž	2,6 - 3,5	3,7 - 5,0	5,0 - 6,2	7,0 - 10,0	10,8 - 12,4
2. Djeca od 8 do 10 god.	M	3,1 - 3,7	4,3 - 5,4	5,6 - 6,7	7,4 - 10,7	11,5 - 13,5
	Ž	2,8 - 3,6	4,0 - 5,2	5,2 - 6,4	7,2 - 10,3	11,4 - 13,4

3. Djeca od 10 do 12 god.	M	3,2 - 4,2	4,4 - 5,5	5,7 - 6,9	7,6 - 11,1	12,7 - 15,4
	Ž	3,1 - 3,7	4,2 - 5,4	5,4 - 6,6	7,4 - 10,7	12,3 - 15,2
4. Djeca od 12 do 15 god.	M	3,5 - 4,6	5,0 - 5,8	5,9 - 7,1	7,8 - 11,7	13,2 - 16,0
	Ž	3,2 - 4,5	4,5 - 5,5	5,6 - 6,8	7,7 - 11,2	12,7 - 15,5
5. Mladež od 15 do 20 god.	M	3,0 - 4,5	4,8 - 5,8	6,0 - 7,8	8,6 - 13,0	14,4 - 18,0
	Ž	2,9 - 4,1	4,6 - 5,6	5,7 - 6,9	8,1 - 12,6	13,0 - 16,6
6. Mladež od 20 do 30 god.	M	3,5 - 4,6	4,8 - 6,2	6,3 - 7,8	8,8 - 13,0	14,4 - 18,0
	Ž	3,4 - 4,6	4,7 - 5,9	6,0 - 7,4	8,5 - 12,9	13,8 - 17,0
7. Odrasli od 30 do 40 god.	M	3,2 - 4,6	4,8 - 6,2	6,3 - 7,8	8,2 - 12,0	13,1 - 18,0
	Ž	3,0 - 4,4	4,7 - 5,8	5,9 - 7,2	8,1 - 11,6	12,0 - 17,0
8. Odrasli od 40 do 50 god.	M	2,9 - 4,3	4,6 - 5,8	6,0 - 7,2	7,6 - 11,1	11,3 - 17,0
	Ž	2,9 - 4,1	4,4 - 5,4	5,5 - 7,2	7,6 - 10,6	10,8 - 16,0
9. Odrasli od 50 do 60 god.	M	2,6 - 4,0	4,2 - 5,3	5,4 - 6,8	7,0 - 10,0	10,1 - 15,8
	Ž	2,5 - 3,9	4,2 - 5,0	5,2 - 6,5	6,9 - 9,0	10,0 - 14,0
10. Odrasli od 60 do 70 god.	M	2,4 - 3,4	3,5 - 4,4	4,5 - 6,0	6,2 - 7,6	9,0 - 12,0
	Ž	2,4 - 3,3	3,5 - 4,4	4,5 - 5,6	6,2 - 7,5	8,5 - 11,5
11. Starije osobe preko 70 god.	M	2,0 - 2,8	2,9 - 3,5	3,6 - 5,0	5,1 - 6,5	7,2 - 10,6
	Ž	1,8 - 2,8	2,9 - 3,5	3,6 - 4,8	4,9 - 6,2	6,4 - 9,0
12. Pješaci s nožnom protezom	M	2,2 - 2,5	2,8 - 3,9	4,0 - 5,3	5,5 - 6,7	-
13. Alkoholizirane osobe srednje pripitosti	M	2,6 - 3,6	3,8 - 4,8	5,0 - 6,4	7,0 - 8,6	9,0 - 13,0
14. Vođenje djece za ruku	M	2,3 - 2,9	3,9 - 4,6	-	-	10,6 - 12,8
	Ž	2,0 - 3,4	3,5 - 4,6	4,7 - 5,5	5,8 - 8,3	9,0 - 12,0
15. Nošenje djeteta u naručju	M	3,3 - 3,8	4,0 - 4,8	5,0 - 5,5	6,2 - 7,2	-
	Ž	3,1 - 3,6	3,9 - 4,7	4,8 - 5,6	8,5 - 10,0	-
16. Nošenje stvari i krupnijih paketa	M	3,5 - 4,1	4,3 - 5,1	5,4 - 6,3	-	10,3 - 14,4
	Ž	3,0 - 4,0	4,3 - 5,0	5,3 - 6,0	6,9 - 9,4	11,1 - 13,1
17. Kretanje žene s dječjim kolicima	Ž	2,0 - 2,9	3,5 - 4,5	4,7 - 5,7	6,6 - 7,2	-
18. Kretanje uz držanje pod ruku	M/Ž	3,0 - 4,1	4,4 - 5,4	5,5 - 6,7	7,5 - 11,3	-

Izvor: [1]

Postupak određivanja brzine vozila je složen proces koji od vještaka zahtijeva detaljno poznavanje različitih pravila iz područja fizike, kinematike i sličnih grana znanosti i argumentirano objašnjenje pojedinih pojava u zavisnosti s konkretnim slučajem.

Pri određivanju brzine vozila vještaci se koriste velikim brojem analitičkih metoda. Najčešće korištene metode koje su relevantne za nalet na pješaka i koje će biti opisane u nastavku rada, su:

- određivanje brzine na temelju tragova kočenja,
- određivanje brzine na temelju duljine odbačaja pješaka
- određivanje brzine na temelju oštećenja na vozilu i ozljeda pješaka

- određivanje brzine na temelju daljine odbačaja čestica vjetrobranskog stakla
- očitavanje brzine sa tahografa
- očitavanje brzine iz EDR uređaja

Prije nego se krene s analizom navedenih metoda, kako bi se dobio uvid u prikupljanje parametara potrebnih za provedbu analize, obrazložiti će se procesna radnja očevida prometne nesreće čija kvalitetna, detaljna i temeljita provedba kasnije uvelike može olakšati i pospješiti rekonstrukciju te prometne nesreće odnosno određivanje parametara potrebnih za dokazivanje uzroka te nesreće.

4.1. Očevid prometnih nesreća

Očevid je procesna radnja koju poduzimaju nadležni organi na mjestu prometne nesreće radi utvrđivanja važnih činjenica koje su dovele do počinjenog djela, a koje mogu poslužiti kao dokaz u javnopravnim odnosima.

Cilj očevida je prikupiti sve tragove i materijalne posljedice na mjestu i oko mjesta prometne nesreće te saznati okolnosti pod kojima se nesreća dogodila. Pod mjestom nesreće podrazumijeva se šire i uže područje mjesta nesreće odnosno područje preko kojeg se dolazi do samog mjesta gdje se nesreća dogodila i najbliža okolina tog mjesta.

Očevid se u pravilu obavlja na licu mjesta, a sastoji se od proučavanja i prikupljanja raznih dokaza kao što su materijalni tragovi, uzorci krvi ili tkiva. Predmet očevida su sudionici prometne nesreće, predmeti i samo mjesto prometne nesreće. Očevid se može obaviti i izvan mjesta nesreće pregledom osoba ili predmeta i tada se za naknadno tumačenje tako prikupljenih podataka koriste posebni stručnjaci vještaci.

Nakon što su sve faze očevida obavljene i podaci do kojih se može doći na mjestu nesreće pravilno i kvalitetno utvrđeni, pošto je sam očevid jedan dio pripreme za vještaka, nastupa vještak sa svojom istragom svih dostupnih podataka sa mjesta nesreće, te iznosi svoje mišljenje i zaključak. U većini slučajeva zadatak vještaka odnosi se na utvrđivanje procesa odnosno mehanizma nastanka određene prometne nesreće i istraživanje tehničke mogućnosti sprečavanja te nesreće, [3].

Da bi se očevid mogao izvršiti, potrebno je prvo osigurati mjesto nesreće, a to čine policijski službenici. Njihov zadatak je prikupiti obavijesti o tome što se dogodilo i regulirati ili obustaviti promet te osigurati tragove do dolaska ekipe za očevid. Pravilno osiguranje mjesta događaja uvjetuje kasniju dokaznu podobnost tragova i predmeta pronađenih na mjestu prometne nesreće, pa se od ovlaštenih službenih osoba traži korektan pristup i savjesno i zakonito postupanje u poduzimanju mjera.

Metodički, očevid se može podijeliti na četiri faze:

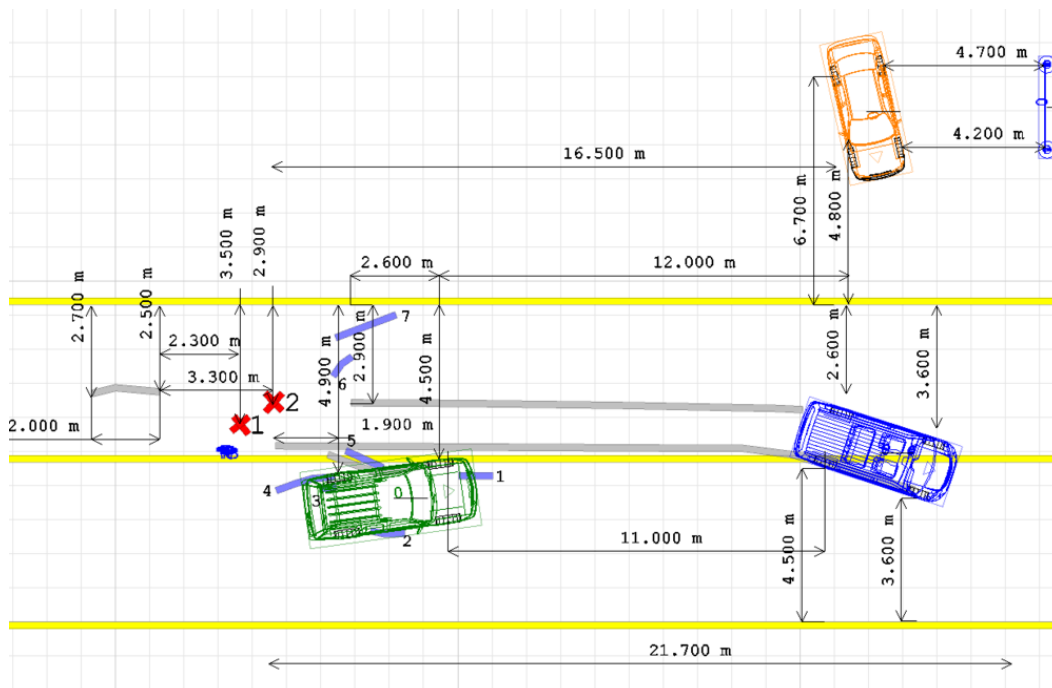
- Orijentacijsko-informativna

- Statička
- Dinamička
- Kontrolno-završna

U orijentacijsko-informativnoj fazi ekipa za očevid prikuplja sve informacije od osoba koje su osiguravale mjesto nesreće ili, ako mjesto nije bilo osigurano, od sudionika i onih koji su nazočni na mjestu prometne nesreće. Nakon toga slijedi statička (pasivna) faza u kojoj se nastoji rekonstruirati činjenično stanje. Proučava se mjesto događaja i obilježavaju i katalogiziraju svi tragovi i predmeti povezani s događajem bez pomicanja ili dodirivanja. U toj fazi se utvrđuju podaci o vozilu koje je izazvalo prometnu nesreću i obavljaju obavijesni razgovori sa svim sudionicima prometne nesreće. Svaki propust u ovoj fazi za posljedicu ima greške koje izravno utječu na kvalitetu obavljenog očevida. Treća faza očevida je dinamička faza u kojoj se prethodno evidentirani predmeti detaljno pregledavaju i vrši se izuzimanje, fiksiranje i pakiranje dokaznog materijala. Provode se istražni eksperimenti kojima bi se provjerile okolnosti činjenica ili iskaza, primjerice probno kočenje, ispitivanje efekta svjetla na valovitom kolniku, refleksija svjetla od glatke površine i sl. U završnoj fazi očevida rezimiraju se rezultati obavljenog očevida te se uspostavlja prethodno stanje kolnika i omogućava nesmetano odvijanje prometa, [3].

Posebna važnost pri obavljanju očevida pridaje se sastavljanju Zapisnika o očevidu u koji se unose sve važne činjenice i detalji povezani s prometnom nesrećom i uz koji se prilazu sve fotografije, skice i snimke mjesta događaja i relevantnih tragova. Zapisnik o očevidu mora vjerno prikazati sve što je ekipa za očevid poduzela na mjestu događaja i sve činjenice relevantne za događaj kako bi se dobila potpuna i točna informacija o svakom pitanju vezanom za prometnu nesreću. Pri sastavljanju zapisnika bitno je opisivanje okolnosti i činjenica sa strogom objektivnošću i bez iznošenja ikakvih mišljenja ili subjektivnih zaključivanja po pitanju nesreće.

Osim zapisnika o očevidu, u dokumentaciju očevida spadaju i fotodokumentacija i situacijski plan mjesta prometne nesreće. Fotografiranjem se trajno fiksiraju činjenice utvrđene prilikom očevida i ono je nužno kako bi se naknadno mogle rekonstruirati okolnosti prometne nesreće i provjeriti i ocijeniti prikupljeni dokazi. Situacijski plan ili skica mjesta događaja je grafički prikaz prometne nesreće koji olakšava utvrđivanje objektivnih elemenata prometne nesreće i provjeravanje tijeka događaja. Primjer situacijskog plana prometne nesreće prikazan je na slici 8.



Svaki dio dokumentacije mora biti međusobno usklađen i kvalitetno odrađen kako ne bi došlo do dvojbenih situacija prilikom istražnog postupka. Dokumentacija očevida predstavlja ne samo vrlo važan već često i jedini službeni izvor podataka za naknadnu izradu nalaza i mišljenja vještaka.

Prema Pravilniku o stalnim sudskim vještacima, vještak je osoba koja se zbog svog stručnog znanja poziva pred sud kako bi iznijela svoja zapažanja i mišljenja o činjenicama koje bi mogle biti važne za utvrđivanje istinitosti navoda koji su predmet dokazivanja, [11].

4.2. Određivanje brzine na temelju tragova kočenja

Jedna od najefikasnijih i najpouzdanijih metoda za određivanje brzine prilikom sudara je na temelju tragova kočenja vozila, pa tako i prilikom naleta na pješaka, a isto je moguće ako su određeni tragovi kočenja i ako je poznato mjesto naleta. Kako je u većini slučajeva naleta na pješaka uzrokovan zakašnjelom reakcijom vozača, bila tomu uzrok iznenadna pojava pješaka na kolniku, kasno uočavanje od strane vozača, loša vidljivost ili neki drugi čimbenik, dolazi se do pokušaja naglog zaustavljanja vozila odnosno do forsiranog kočenja i ostavljanja tragova pneumatika na kolniku. Navedeni tragovi nastaju kao rezultat proizvedene sile na kočnom uređaju vozila, koja se preko pneumatika odražava na kolniku. Ostavljeni trag potrebno je prilikom očevida pouzdano izmjeriti i označiti na situacijskom planu kako bi se na temelju njega mogla odrediti brzina vozila na početku tragova kočenja.

Sami tragovi kočenja nisu dovoljni za određivanje brzine vozila. Kako bi se brzina vozila na početku tragova kočenja mogla točno odrediti potrebno je odrediti usporenje vozila pri tom kočenju. Usporenje se može odrediti eksperimentalno ispitivanjem pri istim uvjetima, iz tablica, ili računski pomoću formule (1):

$$a = \mu * g \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (1)$$

gdje je:

a – usporenje vozila

μ – koeficijent priranja

g – ubrzanje pri slobodnom padu, 9,81 m/s²

Koeficijent priranja prikazuje mjeru kontakta između pneumatika vozila i kolnika. Pri većim vrijednostima koeficijenta priranja vozilo je stabilnije tijekom vožnje. Njegova vrijednost ovisi o vrsti, stanju i uvjetima na kolniku (asfalt, beton, makadam...; suh, mokar, snijeg, led...), te o vrsti i stanju pneumatika (dijagonalni, radijalni; ljetni, zimski; nov, istrošen...). Kako koeficijent priranja direktno utječe na sposobnost ubrzanja i usporenja vozila, u tablici 5. Su prikazane granične i prosječne vrijednosti usporenja vozila za koeficijent priranja ovisno o prethodno navedenim uvjetima, [1].

Tablica 5. Vrijednosti usporenja pri forsiranom kočenju osobnih automobila ovisno o vrsti kolnika

Redni broj	Vrsta kolničkog zastora	Stanje kolničkog zastora	Vrsta pneumatika	Usporenje [m/s ²]	
				Granične vrijednosti	Prosječna vrijednost
1.	Beton	Suh, nov	D, R	7,3 - 8,8	8,05
2.		Suh, nov, posuti pijesak	D, R	5,2 - 6,5	5,85
3.		Suh, star, istrošen, glatki	D, R	6,5 - 7,9	7,20
4.		Mokar, star, istrošen, glatki	D, R	4,0 - 6,8	5,40
5.	Asfalt	Suh, nov, grub	D, R	7,2 - 8,6	7,90
6.		Suh, star, istrošen, glatki	D, R	7,0 - 8,8	7,90
7.		Suh, posuti pijesak	R	4,8 - 5,5	5,15
8.		Suh, s preljevom bitumenozne mase	R	5,0 - 6,0	5,50
9.		Suh, blatan	R	3,2 - 4,4	3,80
10.		Suh, tragovi prljavštine	R	6,2 - 7,1	6,60
11.		Suh, vlažni tragovi prljavštine	R	4,5 - 5,4	4,95
12.		Mokar, jako zaprljan, pijesak, blato	R	3,5 - 4,5	3,90
13.		Mokar, jako blatan, pijesak	R	2,5 - 3,2	2,85
14.		Vlažan, istrošen, glatki	R	6,5 - 7,8	7,15
15.		Mokar, istrošen, glatki	R	5,4 - 7,3	6,35
16.		Početak padanja kiše, glatki	R	3,7 - 4,3	4,00
17.		Mokar, s povišenim sadržajem bitumenozne mase	R	3,0 - 4,0	3,50
18.		Mokar, s potpunim preljevom bitumenozne mase	R	2,0 - 3,5	2,75
19.	Kocka	Suh, male kocke	D	7,1 - 8,4	7,75
20.		Suh, male kocke	R	6,8 - 8,2	7,50
21.		Suh, velike kocke	R, D	6,6 - 7,5	7,05
22.		Mokar, male kocke	R, D	4,2 - 5,8	5,00
23.		Vlažan, male kocke	R	5,5 - 6,1	6,30
24.		Mokar, velike kocke	R	4,3 - 6,2	5,30
25.		Suh, keramička opeka	R	4,2 - 5,6	4,90
26.		Mokar, keramička opeka	R	2,0 - 3,2	2,60
27.	Makadam	Suh, tvrd, prašnjav, pješčan	R	4,2 - 5,5	4,90
28.		Suh, tvrd, blatnjav	R	4,0 - 5,1	4,60

29.		<i>Suh, tvrd i grub šumski, blatnjav</i>	<i>R</i>	<i>5,1 - 5,6</i>	<i>5,40</i>
30.		<i>Vlažan, tvrd, blatnjav i pješčan</i>	<i>R</i>	<i>3,8 - 4,7</i>	<i>4,30</i>
31.		<i>Mokar, tvrd, pješčan</i>	<i>R</i>	<i>2,7 - 4,4</i>	<i>3,60</i>
32.	<i>Poljski put</i>	<i>Suh, mekše tlo, prašnjav, izrasline trave,</i>	<i>R, D</i>	<i>5,1 - 5,5</i>	<i>5,30</i>
33.		<i>Suh, čisto tlo, niska trava</i>	<i>R</i>	<i>4,0 - 5,0</i>	<i>4,50</i>
34.		<i>Mokar, čisto tlo, srednje raslinje</i>	<i>D</i>	<i>2,8 - 4,0</i>	<i>3,40</i>
35.		<i>Suho i tvrdo tlo, ugažena trava</i>	<i>R, D</i>	<i>4,3 - 5,6</i>	<i>5,00</i>
36.		<i>Mokar, čisto i ravno tlo, srednje raslinje</i>	<i>R</i>	<i>2,8 - 3,5</i>	<i>3,20</i>
37.		<i>Mokar, čisto i mekše tlo, ugažena trava</i>	<i>R</i>	<i>2,0 - 2,4</i>	<i>2,20</i>
38.	<i>Snijeg</i>	<i>Ugaženi suhi snijeg</i>	<i>MS₂</i>	<i>1,4 - 2,0</i>	<i>1,70</i>
39.		<i>Ugaženi suhi snijeg</i>	<i>MS₁</i>	<i>2,0 - 2,8</i>	<i>2,40</i>
40.		<i>Rasuti suhi snijeg (mokar trag)</i>	<i>MS₂</i>	<i>1,3 - 1,6</i>	<i>1,50</i>
41.		<i>Rasuti suhi snijeg (mokar trag)</i>	<i>MS₁</i>	<i>3,1 - 3,5</i>	<i>3,30</i>
42.		<i>Raskvašeni mokri snijeg</i>	<i>MS₂</i>	<i>1,8 - 2,3</i>	<i>2,10</i>
43.		<i>Raskvašeni mokri snijeg</i>	<i>MS₁</i>	<i>3,6 - 4,2</i>	<i>3,90</i>
44.	<i>Led</i>	<i>Ugaženi snijeg i led</i>	<i>MS₂</i>	<i>1,2 - 1,8</i>	<i>1,50</i>
45.		<i>Ugaženi snijeg i led</i>	<i>MS₁</i>	<i>1,4 - 2,2</i>	<i>1,80</i>
46.		<i>Zaleđeni mokri kolnik I</i>	<i>MS₁</i>	<i>0,4 - 0,6</i>	<i>0,50</i>
47.		<i>Zaleđeni mokri kolnik III</i>	<i>MS₁</i>	<i>0,8 - 1,2</i>	<i>1,00</i>
48.		<i>Zaleđeni mokri kolnik III</i>	<i>MS₁</i>	<i>1,1 - 1,3</i>	<i>1,20</i>

Izvor: [1]

Prema navedenom u nastavku je prikazana formula za proračun brzine vozila neposredno prije oblikovanja tragova kočenja na temelju zaustavnog puta vozila (2):

$$v_{0,1} = \sqrt{2 * a * S_z} \text{ [m/s]} \quad (2)$$

gdje je:

$v_{0,1}$ – brzina vozila neposredno prije oblikovanja tragova kočenja

S_z – zaustavni put vozila, odnosno tragovi kočenja

a – najveće usporenje vozila ovisno o uvjetima

Sljedeća sastavnica prilikom određivanja brzine vozila na temelju tragova kočenja je poznavanje mjesta naleta, što dovodi do otežane primjene ove metode u praksi jer je u velikom broju naleta na pješaka teško pouzdano odrediti mjesto naleta. Do mjesta naleta može se doći ispitivanjem svjedoka, ali ti iskazi su subjektivni i mogu biti pristrani te ih treba uzeti s mjerom opreza. Također može se doći na temelju tragova prometne nesreće kao što su tragovi čestica otpalih s vozila (lak, čestice stakla, nečistoće i sl.), tragovi pješaka (struganje cipela, krv i sl.) te na temelju ostalih predmeta (predmeti koje je nosio pješak), ali iste također treba uzeti s mjerom opreza jer mogu nastati naknadno, a ne na mjestu naleta. Istraživanja su pokazala kako kapa koju je nosio pješak u trenutku naleta često padne na tlo neposredno u blizini mjesta naleta te se stoga njena lokacija može uzeti kao pretpostavka za mjesto naleta koje je zatim potrebno dodatno potvrditi ostalim informacijama i tragovima.

Ukoliko je poznato mjesto naleta, brzina vozila u trenutku naleta može se relativno jednostavno odrediti tako da se umjesto ukupnih tragova kočenja primjenjuju tragovi kočenja od mjesta naleta do zaustavljanja. Obzirom da je masa pješaka znatno manja od mase vozila,

prilikom naleta dolazi do neznatnog povećanja usporenja vozila te se isto može zanemariti prilikom izračuna (3).

$$v_n = \sqrt{2 * a * S_n} \text{ [m/s]} \quad (3)$$

gdje je:

v_n – brzina vozila u trenutku naleta na pješaka

S_n – put vozila od naleta do zaustavljanja, odnosno tragovi kočenja

a – najveće usporenje vozila ovisno o uvjetima

Prilikom aktiviranja kočnog mehanizma ne dolazi do trenutnog porasta usporenja na maksimalnu vrijednost već je potrebno određeno vrijeme da bi se dostiglo maksimalno usporenje, odnosno ocrtali tragovi kočenja na kolniku. Vrijeme porasta usporenja ovisi o vrsti vozila, a proteže se od 0,15 do 0,7 sekundi, za osobna vozila vrijeme porasta usporenja iznosi 0,15 sekundi. Brzina vozila prije početka kočenja prikazana je formulom (4):

$$v_0 = 1,8 * t_3 * a + \sqrt{2 * a * S_z} \quad (4)$$

gdje je:

- v_0 – brzina vozila prije početka kočenja
- t_3 – vrijeme porasta usporenja
- S_z – put koji prolazi motorno vozilo za vrijeme maksimalnog usporenja pri ekstremnom kočenju; približno je jednak maksimalnoj duljini vidljivog traga kočenja [m]
- a – najveće uspostavljeno usporenje pri forsiranom kočenju motornog vozila [m/s²]

Prema navedenoj formuli moguće je i izraziti brzinu kretanja vozila prije samog kočenja odnosno neposredno prije početka oblikovanja tragova kočenja i na temelju sljedećih formula (5):

$$v_{0,1} = v_0 - 1,8 * t_3 \quad \text{ili} \quad v_{0,1} = \sqrt{26 * a * S_p + v_n^2} \quad (5)$$

gdje je:

- $v_{0,1}$ – brzina vozila prije oblikovanja tragova kočenja
- v_0 – brzina vozila prije početka procesa kočenja
- v_n – brzina vozila u trenutku naleta na pješaka
- t_3 – vrijeme porasta usporenja
- S_p – udaljenost od početka tragova kočenja do mjesta naleta
- a – najveće uspostavljeno usporenje pri forsiranom kočenju motornog vozila [m/s²]

4.3. Određivanje brzine na temelju duljine odbačaja pješaka

Metoda određivanja brzine na temelju duljine odbačaja pješaka temelji se na pretpostavci da je poznata lokacija primarnog kontakta između vozila i pješaka odnosno mjesto naleta vozila na pješaka, te da je poznat konačni položaj na kojem se pješak zaustavio nakon faze klizanja po kolniku. Na osnovi udaljenosti između te dvije lokacije definira se ukupna duljina odbačaja pješaka te se prema tome može približno odrediti brzina naleta vozila iz sljedeće formule (6):

$$v_n = 12 * \sqrt{s_{odpj}} \quad (6)$$

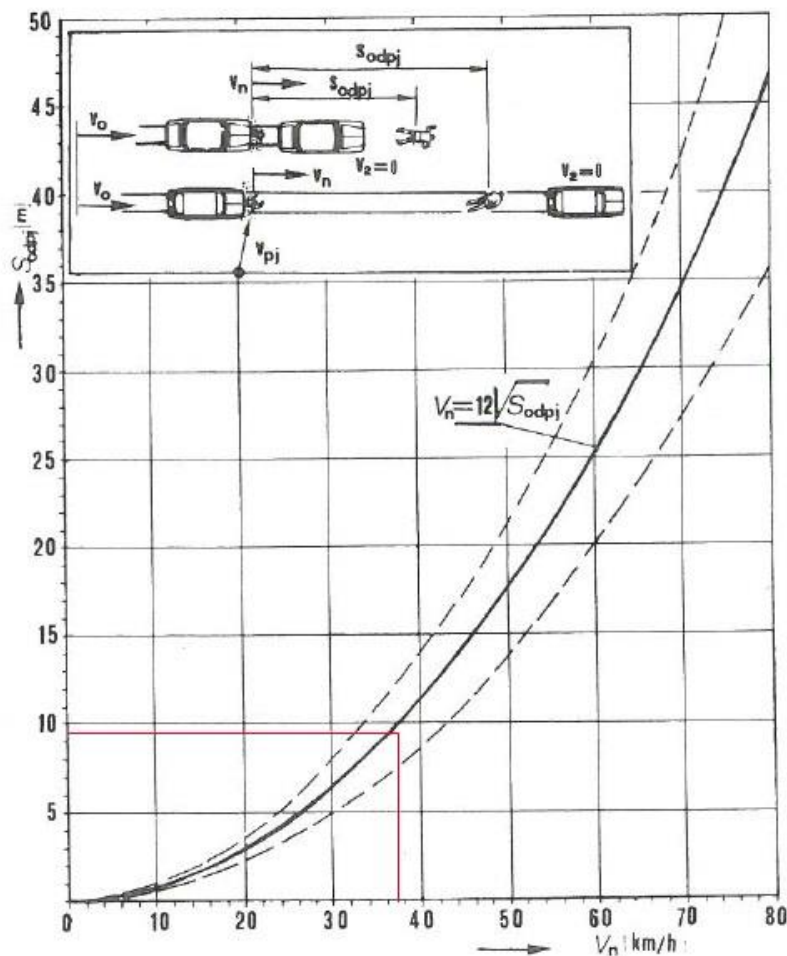
gdje je:

v_n – brzina naleta osobnog automobila na pješaka [km/h]

s_{odpj} – duljina odbačaja pješaka [m]

Važno je napomenuti da se jednadžba može primjenjivati ako su zadovoljeni uvjeti da je vozilo u trenutku naleta bilo kočeno usporenjem većim od 3 m/s², da se radi o punom frontalnom naletu vozila na pješaka, te da rezultati mogu odstupati do ±10 %. Pri djelomičnom kočenju ili kočenju manjim usporenjem tijelo pješaka ostaje u dužem kontaktu s vozilom, faza nošenja je dulja, te mogu biti veća odstupanja u rezultatima koji su samim time ne pouzdani, [1].

Navedena formula postavljena je ispitivanjima od strane Instituta za motorna vozila Tehničkog sveučilišta u Berlinu, na temelju simulacija naleta vozila na lutku visine 175 cm i mase 75 kg, a ispitivanja su potvrđena i analizama realnih prometnih nesreća. Na temelju formule dobiven je i grafički prikaz koji je prikazan na slici 9. u obliku dijagrama.



Slika 9. Prosječna daljina odbačaja pješaka kao funkcija naletne brzine, [1]

Na temelju prethodno navedenih ispitivanja, Kramer je utvrdio da se funkcionalna zavisnost između prosječna daljine odbačaja tijela odrasle osobe i naletne brzine osobnog vozila analitički može izraziti s pomoću kvadratne funkcije oblika (7):

$$s_{odpj} = -0,348 + 0,28 * v_n + 0,062 * v_n^2 \quad (7)$$

Duljina odbačaja djece uglavnom je za oko 20 % veća od daljine odbačaja tijela odraslih osoba. Ako se u obzir uzme usporenje formula glasi (8):

$$s_{odpj} = 0,0178 * a * v_n + 0,0271 * \frac{v_n^2}{a} \quad (8)$$

Iz navedenog se može izvesti brzina naleta koja jest (9):

$$v_n = \sqrt{0,1 * a^4 + 37 * a * s_{odpj}} - 0,33 * a^2 \pm 3,6 \text{ [km/h]} \quad (9)$$

Kako bi se navedeni izrazi mogli efikasno primjenjivati u svrhu određivanja brzine naleta vozila na pješaka moraju biti zadovoljeni sljedeći uvjeti:

- Da je pješak zahvaćen punim naletom (frontalni puni nalet)
- Da je nalet prouzročen osobnim vozilom

- Da nalet nastaje na putu kočenja
- Da vozilo ima usporenje veće od 3 m/s²
- Ako se radi o manjoj djeci na koju naliće vozilo većom naletnom brzinom, daljina odbačaja je manja

Ukoliko navedeni uvjeti nisu zadovoljeni rasipanje rezultata je veće od $\pm 3,6$ km/h ili je čak u nekim slučajevima rezultat neupotrebljiv za praksu, [1].

Svi prethodno navedeni izrazi za proračun brzine vozila na temelju duljine odbačaja pješaka primjenjuju se u slučaju kada se radi o punom čeonom naletu vozila. Ukoliko je tijelo pješaka djelomično zahvaćeno od strane vozila, manje od polovice širine tijela pješaka je zahvaćeno prednjim lijevim ili desnim dijelom, udaljenost od mjesta naleta do krajnjeg položaja pješaka se može izračunati izrazom (10), [12]:

$$S_{odb} = \frac{v_n}{10} \quad (10)$$

gdje je:

S_{odb} – udaljenost od mjesta sudara do krajnjeg položaja pješaka
 v_n – brzina vozila u trenutku naleta

Što dovodi do mogućnosti izračuna brzine vozila u trenutku naleta samo preformuliranjem izraza (11):

$$v_n = 10 * S_{odb} \quad (11)$$

4.4. Određivanje brzine naleta na temelju oštećenja na vozilu i ozljeda pješaka

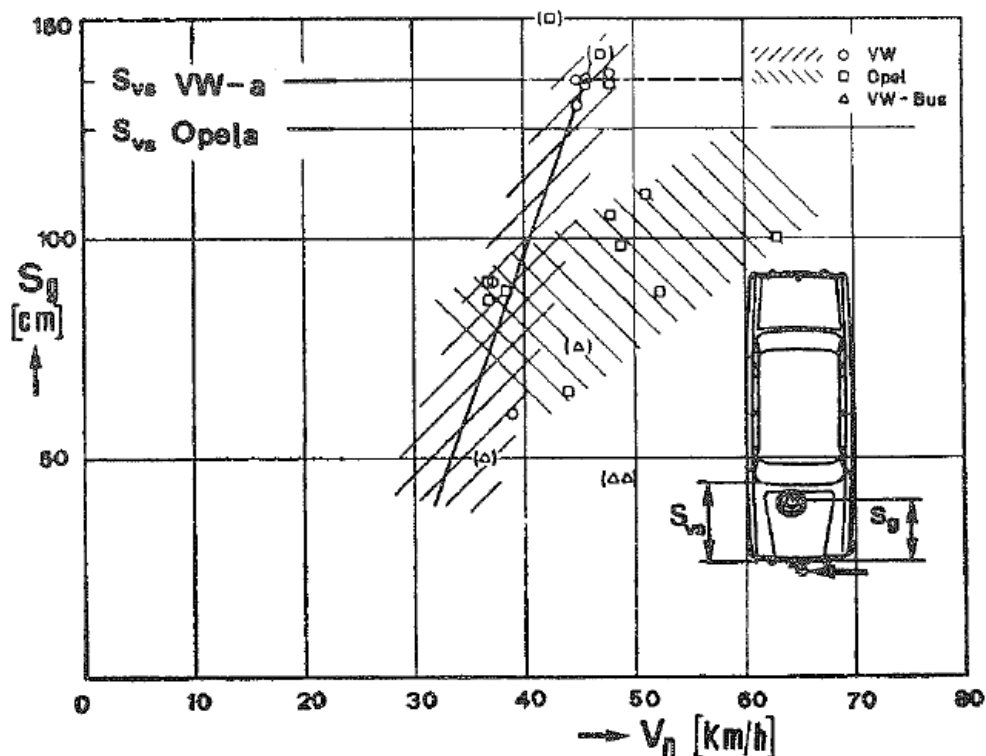
Prilikom sudara dvaju vozila moguće je relativno pouzdano odrediti približne brzine vozila na temelju oštećenja karoserija. Odnosno na temelju karakterističnih oštećenja vozila moguće je odrediti EES vrijednosti koje se zatim koriste kako bi se lakše i pouzdanije odredile brzine vozila u trenutku sudara.

Pojam EES (Equivalent Energy Speed) prvi su definirali i upotrijebili Burg, Martin i Zeidler 1980. godine, a sam postupak EES-a utemeljio je Hans Jorg Martin 1977. godine. On je došao na ideju da deformacija vozila može poslužiti kao prikaz brzinske vrijednosti vozila koja se može usporediti sa EES testom. Godinu dana nakon toga tu metodu je poboljšao J. Ahlgimm, a jednadžbu za EES uveli su Burg i Zeidler iz Mercedes Benza. Kratica EES se odnosi na energiju ekvivalentne brzine i ona predstavlja mjeru brzine koja se pretvori u deformacijsku energiju tijekom sudara. Prema ISO¹, EES je definiran kao „ekvivalentna brzina kojom bi određeno vozilo trebalo kontaktirati bilo koji fiksni kruti objekt da bi je utrošilo na deformacijsku energiju koja odgovara oštećenjima nastalim na vozilu.“, [13].

¹ ISO (International Organization for Standardization) – Međunarodna organizacija za standardizaciju (norme).

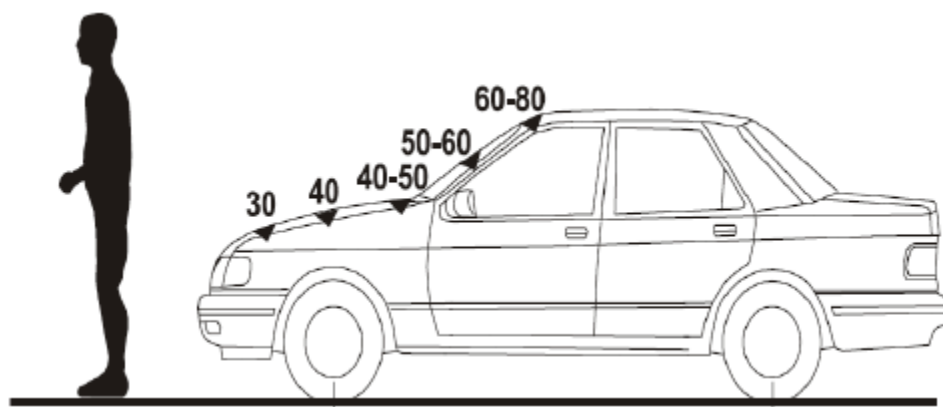
Iako su u sudarima dvaju vozila deformacijske površine vozila znatno veće dolazi se do pokušaja primjene iste teorije pri naletima na pješaka. Ako bi na temelju oštećenja vozila bilo moguće približno zaključiti brzinu vozila u trenutku naleta, mogao bi se za određeno usporeenje izračunati put od mjesta naleta vozila do položaja vozila u mirovanju.

Osnovno pitanje koje se sreće u praksi vještačenja jest: može li se na osnovi razmaka od mjesta udara glave i kuka odrediti smjer kretanja, a pogotovo kada se gleda bočno odstupanje takvih tragova.



Slika 10. Ovisnost brzine naleta o udaljenosti deformacijskog oblika vozila od udara glave pješaka, [1]

Na slici 10. dan je grafički prikaz ovisnosti razmaka deformacije nastale udarcem glave o prednji rubu vozila S_g (koje je naletjelo na pješaka), ovisno o brzini naleta pri različitim tipovima osobnih vozila, koji su označeni na slici. Na toj slici navedena je duljina S_{vz} za ispitna vozila, što predstavlja udaljenost prednjeg djela vozila od vjetrobranskog stakla, dok duljina S_g označava duljinu od prednjeg dijela vozila na kojoj dolazi do kontakta glave pješaka sa vozilom.

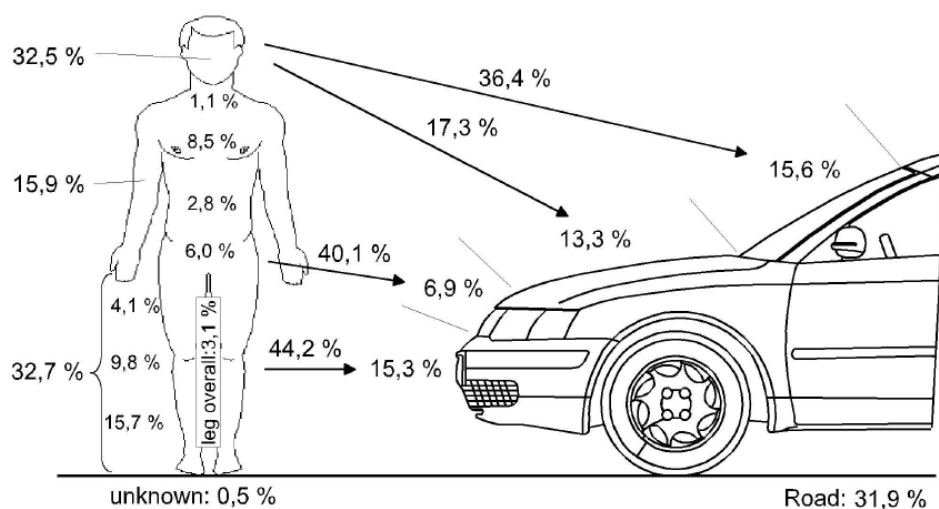


Slika 11. Mjesto kontakta glave pješaka s vozilom ovisno o brzini vozila, [14]

Na temelju ozljeda pješaka i deformacija na vozilu moguće je procijeniti smjer kretanja pješaka neposredno prije sudara. Slika 11. prikazuje međuovisnost mjesta kontakta glave pješaka s vozilom i naletne brzine vozila i prema njoj se može procijeniti da pri brzini od 40 km / h ili više dolazi do udara glave prema vjetrobranskom staklu ako se pješak udari ispod težišta, što je slučaj za tipove vozila s klinastim prednjim dijelom. Kada do udara dolazi oko težišta tijela pješaka, kao što je u slučaju pontonskih vozila, glava pješaka može udariti u vjetrobransko staklo pri brzini od 60 km/h.

Udar vozila u tijelo pješaka brzinom od 50 km/h jednak je padu s visine od 10 m, a pri brzini od 100 km/h udarna sila jednaka je padu s visine od 40 m, što znači da će pješak vrlo vjerojatno dobiti izuzetno ozbiljne ozljede ili sudar neće preživjeti, [13].

Na slici 12. je prikazana međuovisnost između dijelova vozila i ozlijeđenih dijelova pješaka odnosno postotci ovisnosti uzrokovanja ozljeda pojedinih dijelova tijela pješaka od strane pojedinih dijelova vozila. Ista se ne može primjenjivati za određivanje brzine vozila, ali informativno pokazuje koji dijelovi karoserije vozila imaju najviše značaja prilikom naleta na pješaka odnosno na poboljšanju kojih dijelova bi automobilska industrija trebala raditi kako bi se smanjile tragične posljedice za pješake, [15].



Slika 12. Učestalost ozljeda dijelova tijela pješaka uzrokovanih pojedinim dijelovima karoserije vozila, [16]

Istraživanjem oštećenja vozila pri naletu na pješaka ustanovljeno je:

- Prema položaju deformacijskog oblika na vozilu od glave i kuka pješaka može se s velikom sigurnošću zaključiti smjer kretanja pješaka. Veličina deformacije ne dopušta nikakav zaključak vezan za naletnu brzinu na pješaka.
- Prema razmaku deformacijskog oblika na vozilu od glave pješaka, mjerenom od prednjeg djela vozila, može se ocijeniti naletna brzina ako nije uslijedio kontakt glave pješaka s vjetrobranskim staklom. Naletna brzina pri kojoj slijedi kontakt glave s vjetrobranskim staklom ovisi i o tipu vozila.
- Bočna udaljenost odbačaja pješaka od mjesta kontakta ovisna je o mjestu kontakta u području prednjega gabarita vozila.
- Rezultati ubrzanja, ovisno o tipu vozila, za glavu i kukove su između 60 i 80 g, a za prsa 40 g, pri čemu je vrijednost udara tijela pješaka prilikom pada na kolnik nešto niža. Ako glava naleti na vjetrobransko staklo, ubrzanje je veće i od 150 g.
- Od prvog kontakta vozila i pješaka do udara glavom prođe manje od 0,03 sekunde. Pješak se odvaja od vozila u vremenu oko 0,8 sekunde od prvog kontakta. Od početka udara tijela na kolnik do njegova mirovanja prođe vrijeme od 0,5 do 1,5 sekunde. Prema tome, nakon 1 do 3 sekunde pješak zahvaćen vozilom i nošen na vozilu dopijeva u mirovanje. To se vrijeme odnosi i na kombi vozila.
- Navoženi pješak kliže redovito oko 1/3 ukupnog puta odbačaja na cestu, [1].

Na osnovi postranih oštećenja na osobnom vozilu moguće je zaključiti kakav je bio smjer kretanja pješaka neposredno prije naleta. Isto tako, okvirno se može zaključiti da pri brzini od 40 km/h i više dolazi do udara pješaka u vjetrobransko staklo, ako je pješak udaren prilično ispod težišta tijela, što se događa kod klinastih oblika vozila. Pri udaru predjelu težišta, što je slučaj kod pontonskog oblika osobnog vozila, to je moguće tek uz brzinu od 60 km/h.

Može se zaključiti da se samo iz stupnja deformacije na osobnom vozilu ne može dobiti realna slika o brzini naleta. U velikom broju slučajeva, ako pješak nije ekstremno postranično udaren, može se postići znatno procjenjivanje brzine, ako postoje određeni elementi za uspoređivanje, jer vrsta i opseg deformacija vozila ovise o krutosti karoserije vozila i masi tijela. Moguće je da se na osnovi izmjere S_g okvirno utvrdi brzina naleta vozila na pješaka, [1].

4.5. Određivanje brzine naleta prema daljini odbačaja čestica vjetrobranskog stakla

Ovo je približna ocjena brzine naleta osobnog automobila u slučaju kada se zna samo točka, odnosno mjesto naleta na kolniku, kao i duljina odbačaja čestica vjetrobranskog stakla S_{odks} (to je krajnja daljina na kojoj nalazimo dvadesetak komadića stakla promjera 5 do 10 mm, dok veličinu rasipa R stakla isključujemo iz proračuna). Pri prosječnoj visini vjetrobrana

($H=1,2$ m) brzinu kretanja osobnog vozila u trenutku naleta na pješaka možemo procijeniti s obzirom na daljinu S_{odks} , prema dijagramu na slici 13.

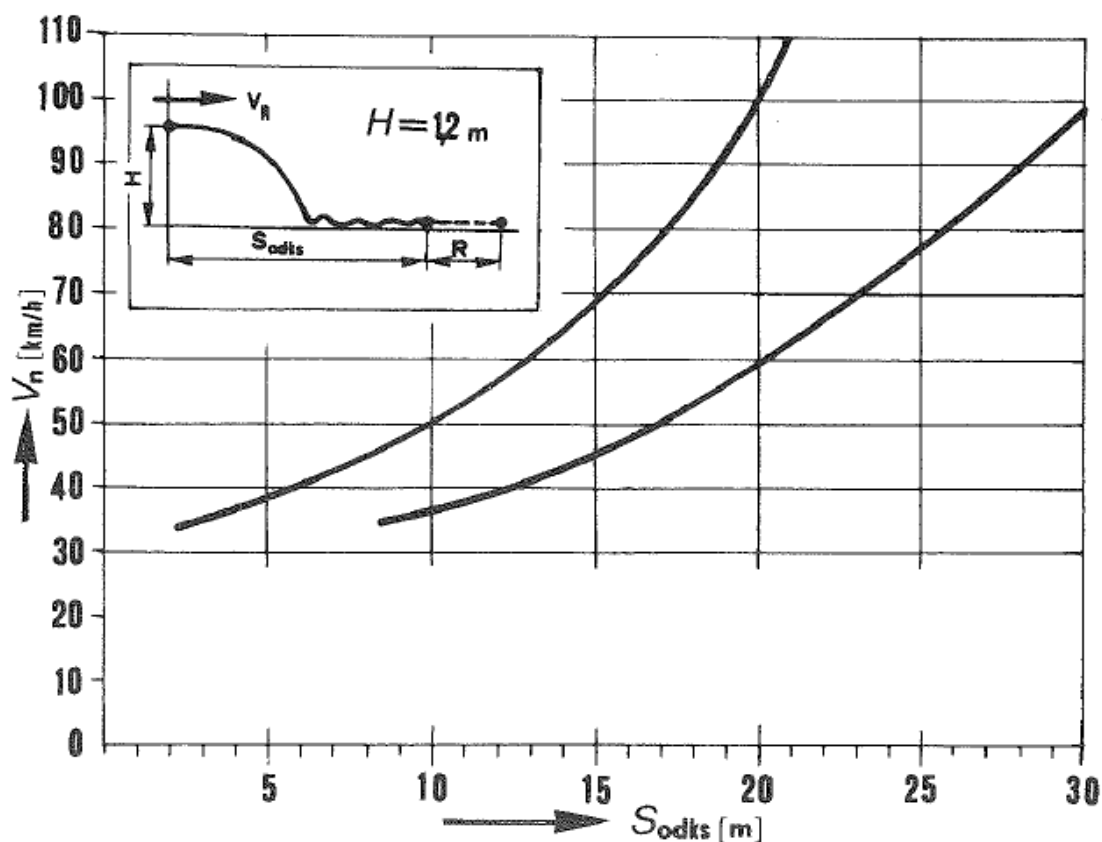
Tako je na primjer daljina odbačaja čestica vjetrobranskog stakla, pri određenoj brzini naleta:

$v_n = 40$ km/h, od 5,8 do 12,5 m

$v_n = 60$ km/h, od 13 do 20 m

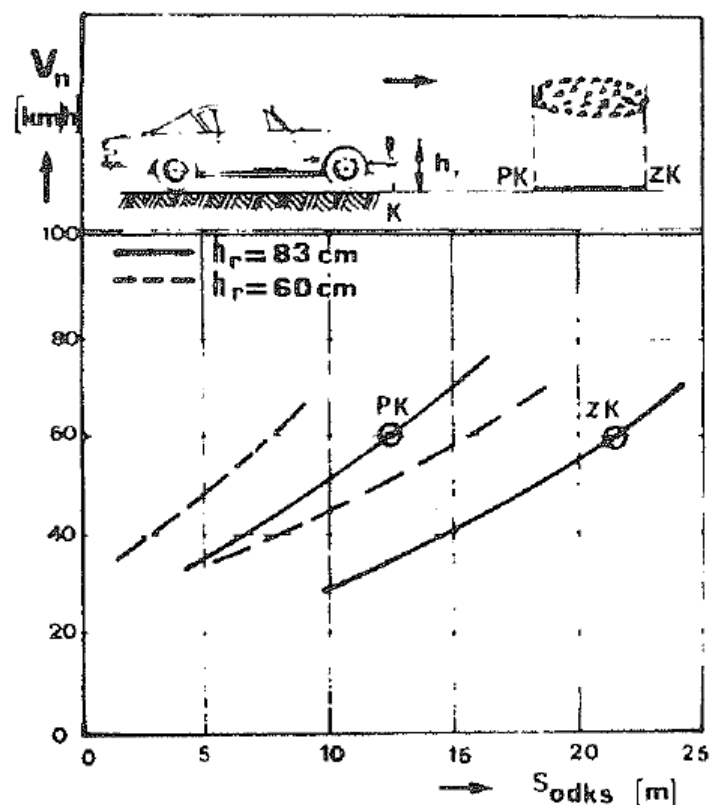
$v_n = 80$ km/h, od 17 do 25 m

$v_n = 90$ km/h, od 19 do 29 m, na udaljenosti od mjesta naleta.



Slika 13. Brzina naleta u odnosu na daljinu odbačaja čestica vjetrobranskog stakla, [1]

Brzina vozila u trenutku naleta na pješaka može se odrediti i prema srednjoj vrijednosti odbačaja čestica stakla prema dijagramu na slici 14. Na temelju udaljenosti prvih čestica (PK), zadnjih čestica (ZK) i visine svjetla ili vjetrobranskog stakla (h_r) iz dijagrama se može iščitati brzina vozila u trenutku naleta na pješaka.



Slika 14. Približno određivanje brzine vozila na temelju odbačaja čestica vjetrobranskog stakla ili svjetla, [1]

Na osnovi eksperimentalnih rezultata možemo procijeniti brzinu osobnog vozila u trenutku razbijanja vjetrobranskog stakla ili stakla prednjih svjetala. Kao početak padanja čestica stakla uzima se 10 krhotina na površini od 1 m^2 . Na vozilima s prednjim krajem i vjetrobranskim staklom u istoj ravnini, čestice vjetrobranskog stakla ili prednjih svjetala, pri zaustavljenom vozilu ili vozilu koje se kreće malim brzinama, padaju ravno na tlo i rasipaju se u krugu s polumjerom jednakim otprilike visini s koje padaju. Na taj se način čestice nalaze i prije mjesta razbijanja stakla.

Potrebno je istaknuti da usporenje ne utječe na daljinu odbačaja čestica stakla. Na vozilima s vjetrobranskim staklom uvučenim iza pokrova motora čestice stakla pri zaustavljenom vozilu ili vozilu koje se kreće malom brzinom padaju dijelom i u unutrašnjost vozila. Tek pri porastu brzine kretanja čestice padaju na pokrov motora i s njega na tlo.

S porastom brzine vozila raste i udaljenost odbačaja čestica stakla.

Ako nam je poznata duljina između položaja vozila u trenutku razbijanja stakla pa do početka zatečenih čestica stakla na kolniku S_{odks} , možemo procijeniti brzinu vozila u trenutku razbijanja stakla sljedećim izrazima:

- Za vjetrobransko staklo u istoj ravnini s prednjim krajem vozila (12):

$$v_n = 2,75 + 1,65 * S_{odks} \text{ [m/s]} \quad (12)$$

- Za vjetrobransko staklo uvučeno iza pokrova motora (13):

$$v_n = \sqrt{20 * S_{odks}} \text{ [m/s]} \quad (13)$$

- Za stakla prednjih svjetala (14):

$$v_n = 2 + 1,7 * S_{odks} \text{ [m/s]} \quad (14)$$

Ako znamo duljinu površine prekrivene česticama stakla S_{dpks} , možemo procijeniti brzinu vozila prema sljedećim izrazima, [1]:

- Za vjetrobransko staklo u istoj ravnini s prednjim krajem vozila (15):

$$v_n = S_{dpks} - 2,85 \text{ [m/s]} \quad (15)$$

- Za vjetrobransko staklo uvučeno iza pokrova motora (16):

$$v_n = \sqrt{(S_{dpks} - 5) * 20} \text{ [m/s]} \quad (16)$$

- Za stakla prednjih svjetala

$$v_n = 1,36 * S_{dpks} - 1,45 \text{ [m/s]} \quad (17)$$

Procijenjena brzina na osnovi duljine početnih padanja čestica stakla kreće se u granicama (18):

$$\begin{aligned} v_{n \min} &= 0,88 * v_n \\ v_{n \max} &= 1,12 * v_n \end{aligned} \quad (18)$$

Procijenjena brzina vozila na osnovi duljine površina prekrivene česticama stakla kreće se u granicama (19):

$$\begin{aligned} v_{n \min} &= 0,8 * v_n \\ v_{n \max} &= 1,2 * v_n \end{aligned} \quad (19)$$

4.6. Određivanje brzine na temelju odbačaja predmeta

U dosta slučajeva pješaci se zateknu na kolniku s određenim predmetima koji im u trenutku naleta vozila ispadnu te kao takvi sačinjavaju tragove prometne nesreće i mogu poslužiti prilikom izračuna brzine naleta. Kao takve prilikom očevida ih je potrebno označiti i

fiksirati i unijeti u situacijski plan. Istraživanje udaljenosti odbačaja navedenih predmeta od mjesta naleta dovelo je do postavljanja sljedeće formule, koja je u suštini ista kao i kod izračuna na temelju odbačaja pješaka kada je pješak djelomično zahvaćen vozilom (20):

$$v_n = 10 * S_{odp} \text{ [m/s]} \quad (20)$$

S_{odp} – označava udaljenost predmeta od mjesta naleta

Predmeti koji mogu biti relevantni za primjenu navedene metode su kapa, štap, torba, paket i sl. Uz uvjet da se nalaze u neposrednoj blizini mjesta sudara, odnosno da nisu fiksirani za pješaka npr. torba na ramenima.

Primjenjivost navedene metode je poprilično upitna jer ovisno o obliku i strukturi predmeti mogu biti jako različiti što samim time određuje razlike u duljini njihova odbačaja, predmeti mogu biti nošeni od strane vozila te naknadno odbačeni i slično što znatno utječe na duljinu odbačaja, a samim time dovodi do pogrešne procjene brzine, [12].

4.7. Očitavanje brzine s tahografa

Tahograf je kontrolni uređaj koji se ugrađuje u vozila u svrhu automatskog i poluautomatskog bilježenja podataka o kretanju vozila u cestovnom prometu. Tahografom se prati trajanje upravljanja vozilom, prijeđeni put i brzina kretanja vozila, vrijednosti i učestalosti usporenja i ubrzanja vozila te vrijeme odmora vozača prilikom izvršavanja radnih zadataka.

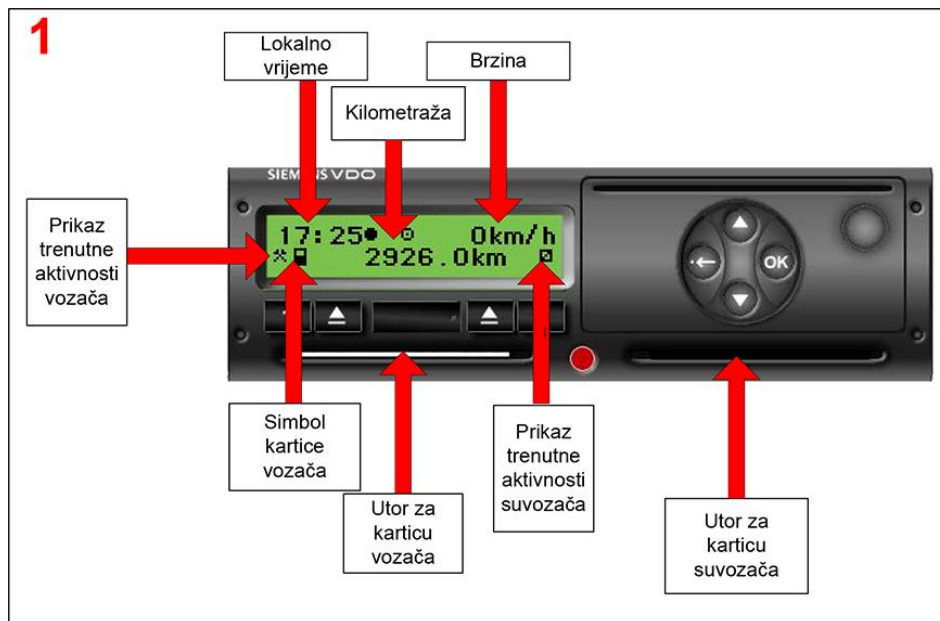
Prema izvedbi postoji dvije vrste tahografa:

- Analogni tahograf
- Digitalni tahograf

Analogni tahograf na tahografski listić bilježi podatke za jedan dan. Uporaba te vrste tahografa postala je obavezna 1969. godine temeljem „Pravilnika o uređajima i opremi na vozilima koja prometuju na putovima i o tehničkim uvjetima za određene uređaje na tim vozilima“ za sve autobuse (osim onih u gradskom prometu) i sva teretna vozila čija najveća dopuštena masa premašuje 5 tona. Na listiću tahografa odvojeno su zapisani dijagrami brzine, vremena vožnje i prijeđenog puta te veličina ubrzanja i usporenja vozila. Analogni tahograf više se ne ugrađuje u nova vozila, [16]

Digitalni tahograf je digitalni uređaj koji se koristi za bilježenje precizne brzine vožnje i prijeđene kilometraže vozila, vremena rada i odmora vozača te tehničkih podataka vezanih za kontrolu, popravak i greške tahografa. Svi podaci zapisuju se u radnu memoriju i pohranjeni su na personaliziranim memorijskim karticama koje omogućuju spremanje podataka za 365 dana. Od 2009. godine uporaba digitalnih tahografa je postala obavezna za sva teretna vozila čija je najveća dopuštena masa veća od 3,5 tona i autobuse odnosno vozila s

više od 8 sjedala. Prednost digitalnih tahografa je u tome što upozoravaju vozače kada moraju napraviti prekid vožnje odnosno kada im dnevna vožnja završava. Također, s obzirom na bilježenje svih relevantnih podataka i grešaka, uvelike je smanjena mogućnost manipulacije i zloupotrebe u odnosu na analogni tahograf. Na slici 15. prikazane su funkcije digitalnog tahografa.



Slika 15. Prikaz funkcija digitalnog tahografa, [17]

Zahvaljujući tahografu, ako u prometnoj nesreći sudjeluje vozilo koje ga posjeduje, vrlo se pouzdano može odrediti brzina kretanja tog vozila u trenutku sudara.

4.8. Očitavanje brzine iz EDR uređaja

EDR (Event Data Recorder) je elektronički uređaj ugrađen u osobna motorna vozila sa svrhom prikupljanja tehničkih podataka o vozilu. Početak razvoja EDR uređaja započeo je u Sjedinjenim Američkim Državama još 1974. godine kada je Američka nacionalna agencija za sigurnost prometa (NHTSA) pokrenula projekt za snimanje podataka u vozilima koja sudjeluju u prometnim nesrećama, a sve u svrhu povećanja sigurnosti cestovnog prometa. 1999. godine počela je ugradnja prvih EDR uređaja u osobna vozila. U SAD-u i Kanadi, od 2013. godine, svako novo vozilo mora biti opremljeno s EDR uređajem, a slična zakonska odredba očekuje se i unutar Europske unije.

EDR uređaj prikuplja podatke o svim relevantnim sustavima u vozilu tijekom vožnje. Količina podataka koju uređaj pohranjuje vrlo je mala – spremaju se podaci za posljednjih pet sekundi, pristizanjem novih podataka, stari se brišu i tako iznova. U slučaju prometne nesreće, EDR uređaj trajno snima tehničke podatke vozila i podatke o vozaču i putnicima prije, u trenutku sudara i poslije prometne nesreće. Obično se snimaju podaci vezani za brzinu vozila u trenutku sudara, ubrzanje odnosno usporenje vozila, status ABS sustava, stanje sigurnosnih pojaseva i zračnih jastuka i slično, [18].

Podatke snimljene tijekom prometne nesreće na EDR uređaju potrebno je iščitati pomoću računala i odgovarajućih uređaja za pretvaranje podataka, a jedan od vodećih proizvođača takvih uređaja je Crash Data Retrieval. Boschov CDR (Crash Data Retrieval) uređaj preuzima podatke iz EDR uređaja, pomoću kablova se spaja na računalo i pretvara ih u računalo poznati format. Nakon uspješnog učitavanja podataka, oni se spremaju na računalo u .pdf formatu. Postoje dva načina prikupljanja podataka iz EDR uređaja:

- ako na vozilu nisu oštećene električne instalacije, CDR uređaj se pomoću odgovarajućeg kabla spaja na standardni OBD 2 priključak vozila (Direct to Link metoda) koji uz podatke iz EDR uređaja pruža sve podatke o vozilu koje računalo u vozilu nadzire pomoću senzora.
- ako su na vozilu oštećene električne instalacije, zbog nefunkcioniranja elektroničkog sustava, podaci iz EDR uređaja ne prenose se do OBD 2 priključka i CDR uređaj je putem odgovarajućih kablova potrebno priključiti direktno na EDR uređaj (Direct to Module metoda), [19].

Pitanje regulacije podataka zabilježenih na EDR uređaju i dalje je vrlo kompleksno budući da se vlasnikom tih podataka može smatrati vlasnik vozila, proizvođač vozila, pa čak i vještak ili osiguravatelj vozila. U SAD-u još uvijek postoji neusklađenost između federalnog i državnih zakona, ali se u principu (u 14 saveznih država koje su donijele zakone koji reguliraju EDR podatke) vlasnikom EDR uređaja i podataka spremljenih na njemu smatra vlasnik vozila. Iznimke predstavljaju vozila u najmu ili vozila na leasing gdje vozač ne mora biti i vlasnik vozila te slučajevi gdje policia osiguranja glasi na drugu osobu. U Europskoj uniji, razvoj EDR uređaja značajno varira unutar država članica zbog čega postoji i problem stvaranja zajedničkog zakonskog okvira po pitanju regulacije podataka koji su na njemu spremljeni. Ipak, najprihvaćenije stajalište je da se vlasnik vozila smatra i vlasnikom EDR uređaja u tom vozilu i podataka koji se na EDR uređaju nalaze. U Republici Hrvatskoj, zbog zastarjelosti voznog parka, još uvijek ne postoji zakonska obveza da vozila moraju biti opremljena EDR uređajima i analiziranje podataka iz EDR uređaja se ne koristi, [18].

Podaci prikupljeni iz EDR uređaja vrlo su precizni i predstavljaju veliku pomoć pri analizi i rekonstrukciji prometnih nesreća. Zahvaljujući njima, pouzdano se može ustanoviti reakcija vozača osobnog vozila i tijekom događaja prilikom prometne nesreće.

EDR uređaj se aktivira zbog promjene brzine, odnosno na osnovu Δv . Delta V predstavlja razliku između početne sudarne brzine i brzine vozila nakon sudara. Parametar Δv je osnova za ocjenu veličine oštećenja vozila i veličine mogućih povreda putnika u vozilu tijekom sudara između dvaju vozila. Definicija Δv^2 prema ISO međunarodnom standardu glasi, [13]:

„Vektor razlike između sudarne brzine i brzine razdvajanja.“

² Međunarodna definicija Δv prema ISO (ISO/DIS 12353-1:1996)).

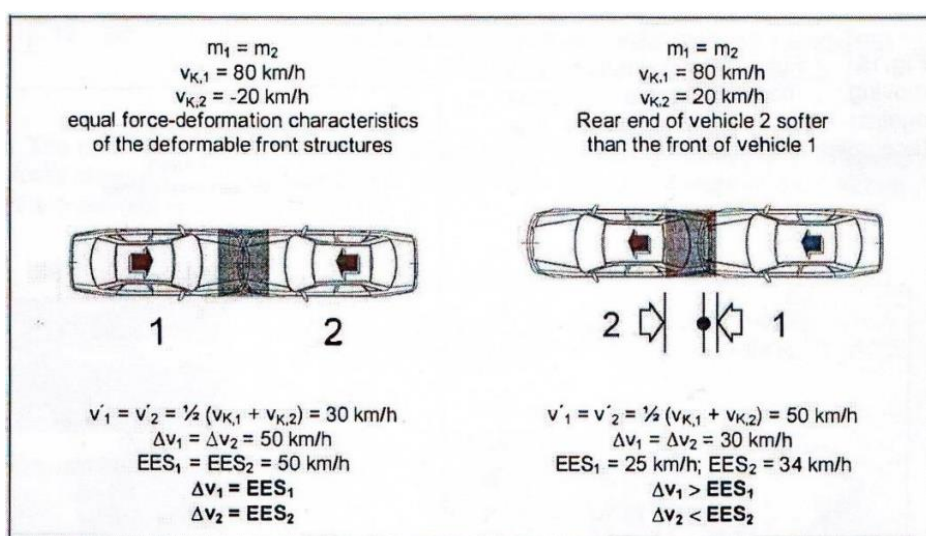
Isto se može prikazati i pomoću sljedeće jednadžbe (21):

$$\Delta v = v_{kb} - v_{pb} \quad (21)$$

gdje je:

- v_{kb} – krajnja brzina vozila [m/s]
- v_{pb} – početna brzina vozila [m/s]

EES i Δv su dva različita parametra pa su im i vrijednosti različite, osim u nekim specijalnim slučajevima kada su im vrijednosti jednake ili približno jednake. Kod punih frontalnih sudara sa potpunim preklapanjem kontaktnih površina, pri čemu nema klizanja između kontaktnih površina vozila EES i Δv su jednakih ili približno jednakih intenziteta. Na slici 16. prikazan je puni plastični sudar dvaju vozila jednake mase.



Slika 16. Puni plastični sudar dvaju vozila jednake mase, [15]

Na lijevoj strani slike je prikazan puni plastični čelni sudar (puni frontalni sudar) iz kojega je vidljivo da su kod ove vrste sudara EES i Δv potpuno jednakog iznosa, dok je na desnoj strani slike prikazan puni zadnji centralni sudar, a kod ovoga slučaja vidljivo je sa slike da postoje određene razlike između EES-a i Δv . [13]

Prilikom naleta vozila na pješaka ne dolazi do znatne promjene brzine vozila iz razloga što je masa pješaka znatno manja od mase vozila. Manja promjena brzine vozila uvjetuje i manji Δv , a kako se EDR uređaj aktivira na promjenu brzine dolazi do mogućnosti da se uređaj prilikom naleta na pješaka uopće ne aktivira, odnosno da ne zabilježi podatke u trenutku naleta.

Ukoliko se EDR uređaj aktivira prilikom naleta na pješaka, zabilježene parametre možemo s vrlo velikom sigurnošću koristiti za potrebe vještačenja i rekonstrukcije tog naleta, dok ukoliko vozilo ima ugrađen EDR uređaj i ne aktivira se u trenutku naleta, kao da ga nije ni imalo.

5. USPOREDBA RAZLIČITIH METODA ZA ODREĐIVANJE BRZINE VOZILA PRI NALETU NA PJEŠAKA

Kako bi se usporedile metode određivanja brzine vozila pri naletu na pješaka opisane u prethodnom poglavlju koristiti će se podaci s crash testova koji su provedeni od strane Zavoda za prometno tehnička vještačenja na Fakultetu prometnih znanosti u Zagrebu. Ukupno su provedena tri crash testa naleta vozila na lutku i to nalet dostavnog vozila Renault Trafic na lutku (dijete) i dva naleta osobnih automobila Hyundai Accent na odraslu lutku pri različitim brzinama.

Crash testovi su izvršeni u testnim uvjetima te poznati su svi ulazni parametri kao i rezultati ispitivanja, no neovisno o tome ispitati će se primjenjivost i relevantnost pojedinih metoda pri određivanju brzine vozila.

5.1. Nalet dostavnog vozila Renault Trafic na lutku (dijete)

U tablici 6. prikazane su osnovne informacije o izvedenoj simulaciji naleta na lutku.

Tablica 6. Osnovne informacije o naletu dostavnog vozila Renault Trafic na lutku (dijete)

Osnovne informacije	
Model vozila	Dostavno vozilo Renault Trafic
Vrsta lutke	Lutka (dijete)
Vremenski uvjeti	Kiša
Vrsta i stanje kolnika	Betonske kocke, mokar
Brzina naleta	54 km/h
Duljina odbačaja	29,20 m
Početna točka mjerenja	zapadni rub betonskih ploča

Napomena: Mjerenja su izvršena po osovini u smjeru kretanja automobila, u smjeru sjevera.

Očevid simulacije naleta izvršen je od strane djelatnika Zavoda za prometno-tehnička vještačenja, Fakulteta prometnih znanosti u Zagrebu, te su evidentirani sljedeći tragovi:

- Mjesto naleta sjeverno od PTM za 0,00 m i desno od PTM za 5,5 m
- Na 7,30 m sjeverno od PTM i desno po osovini za 6,3 m kapa označena brojem 1
- Na 9,40 m sjeverno od PTM i desno po osovini za 1,6 m lijevo stopalo označeno brojem 2
- Na 15,45 m sjeverno od PTM i desno po osovini za 4,8 m desna tenisica označena brojem 3
- Na 17,55 m sjeverno od PTM sjenilo prednjeg desnog svjetla i staklo desnog pokazivača smjera označeno brojem 4

- Na 22,60 m sjeverno od PTM i desno po osovini za 7 m lijevo dio prednjeg desnog svjetla označeno brojem 5
- Na 29,20 m sjeverno od PTM i desno po osovini za 5,7 m lutka – trup označeno brojem 6
- Izmjere osobnog automobila označen brojem 7:
 - Stražnji desni kotač dostavnog vozila nalazi se na 15,95 m sjeverno od PTM i desno po osovini za 5 m
 - Prednji desni kotač dostavnog vozila nalazi se na 19,10 m sjeverno do PTM i desno po osovini za 5 m



Slika 17. *Situacijski plan naleta dostavnog vozila Renault Trafic na lutku (dijete)*

Određivanje mjesta naleta je jedna od početnih radnji kod vještačenja. Iz razloga što je ovaj nalet fingiran poznato je mjesto naleta te se obzirom da je lutka nosila kapu, koja se nakon sudara nalazila na udaljenosti od 7,30 m sjeverno te 6,30 m desno od mjesta naleta može se zaključiti da u ovom primjeru nije zadovoljena teorija u kojoj kapa pada u krugu

polumjera 1 m od mjesta naleta te bi korištenje iste u realnom naletu dovelo do krivih pretpostavki.

U zapisniku očevida nisu evidentirani tragovi kočenja vozila te se metoda određivanja brzine vozila na temelju tragova kočenja ne može primijeniti iako su poznati vrsta i stanje kolnika te bi se iz navedenog moglo odrediti usporenje vozila koje prema tablici iznosi $a = 5,40 \text{ m/s}^2$.

U trenutku naleta na lutku vozilo nije bilo kočeno, nije sudjelovalo osobno vozilo već dostavno i lutka je djeteta stoga u ovom primjeru nisu zadovoljeni uvjeti za primjenu metode proračuna brzine na temelju duljine odbačaja pješaka, što je vidljivo i prema rezultatima.

$$v_n = 12 * \sqrt{29,20} = 64,84 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

Korištenjem Kramerove formule dobiveni su sljedeći rezultati:

$$v_n = \sqrt{0,1 * 5,4^4 + 37 * 5,4 * 29,20} - 0,33 * 5,4^2 = 67,3 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

Nalet na lutku ostavio je znatne deformacije na vozilu koje su prikazane na slici 18. Može se vidjeti oštećenje prednjeg branika vozila, udubljenje poklopca motora i puknuće prednjeg desnog svjetla i pokazivača smjera. Udubljenje na poklopcu motora prema obliku se može dovesti u vezu s udarcem glave lutke. Na temelju navedenih oštećenja se prema grafičkom prikazu procjene brzine na temelju kontakta glave pješaka i vozila koji je prikazan prethodno na slici 11. ne može procijeniti naletna brzina jer se radi o dostavnom vozilu.



Slika 18. Prikaz oštećenja na vozilu uzrokovanih naletom na lutku II

Iako je vidljivo puknuće prednjeg desnog svjetla i pokazivača smjera na vozilu, te su evidentirani podaci o duljini odbačaja čestica stakla navedenih elemenata isti se ne mogu primijeniti jer nije zadovoljen uvjet da je vozilo koje je prouzročilo nalet osobno. Prema duljini odbačaja čestica stakla od 17,55 m i 22,60 m, sukladno podacima iz poglavlja 4.5. ovog rada dolazi se do procjene naletne brzine od 80 km/h, što potvrđuje prethodnu konstataciju.

U zapisniku očevida zabilježeni su podaci o duljini odbačaja desne tenisice koja se u trenutku naleta nalazila na lutki. Sukladno navodima iz poglavlja 4.6. ovog rada, navedena udaljenost otpale tenisice u iznosu od 15,45 m se može koristiti kao ulazni parametar za metodu određivanja brzine na temelju odbačaja predmeta:

$$v_n = 10 * 15,45 = 154,50 \text{ [m/s]}$$

Rezultati prikazuju znatna odstupanja od stvarne vrijednosti jer je otpali predmet bio privezan za lutku, što znači da je bilo potrebno neko vrijeme ili pokreti kako bi se odvojio od lutke što za posljedicu ima veću udaljenost od mjesta naleta, a samim time i veću procjenu brzine naleta.

Očitanje brzine s tahografa i li iz EDR uređaja nije bilo moguće jer vozilo nije bilo opremljeno istima. Za potrebe ovog istraživanja vozilo je bilo opremljeno dodatnim uređajima koji bilježe brzinu vozila, a to su u ovom slučaju bili XL metar i DAQ uređaj. Podaci o brzini s navedenih uređaja prikazani su u općim informacijama o naletu.

5.2. Osobno vozilo Hyundai Accent i lutka I

U tablici 7. prikazane su osnovne informacije o izvedenoj simulaciji naleta na lutku.

Tablica 7. Osnovne informacije o naletu osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I

Osnovne informacije	
<i>Model vozila</i>	<i>Osobno vozilo Hyundai Accent</i>
<i>Vrsta lutke</i>	<i>Odrasla lutka</i>
<i>Vremenski uvjeti</i>	<i>Kiša</i>
<i>Vrsta i stanje kolnika</i>	<i>Betonske kocke, mokar</i>
<i>Brzina naleta</i>	<i>64 km/h</i>
<i>Duljina odbačaja</i>	<i>30,80 m</i>
<i>Početna točka mjerenja</i>	<i>zapadni rub betonskih ploča</i>

Napomena: Mjerenja su izvršena po osovini u smjeru kretanja automobila, u smjeru sjevera.

Očevid simulacije naleta izvršen je od strane djelatnika Zavoda za prometno-tehnička vještačenja, Fakulteta prometnih znanosti u Zagrebu, te su evidentirani sljedeći tragovi:

- Mjesto naleta sjeverno od PTM za 0,00 m i desno od PTM za 5,5 m
- Kapa – pronađena na mjestu naleta označena brojem 1

- Na 6,25 m sjeverno od PTM i u desno za 5,50 m otpali dio plastike od zaštite motora označeno brojem 5
- Na 11,80 m sjeverno od PTM i desno za 5,50 m započinje trag kočenja prednjih kotača, a završava 35,90 m sjeverno od PTM i u desno za 5,20 m označeno brojem 2
- Na 30,35 m sjeverno od PTM i u desno za 7,20 m nalazi se glava lutke
- Na 30,80 m sjeverno od PTM i u desno 6,70 m nalazi se trup lutke označeno brojem 3
- Na 36,70 m sjeverno od PTM i u desno za 4,50 m nalazi se otpala lijeva ruka označena brojem 6
- Izmjere osobnog vozila označen brojem 4:
 - Stražnji desni dio osobnog vozila nalazi se za 32,60 m sjeverno od PTM
 - Stražnji lijevi dio osobnog vozila nalazi se na 32,60 m sjeverno od PTM i u lijevo za 1,6 m
 - Stražnji desni kotač osobnog vozila nalazi se na 33,35 m sjeverno od PTM
 - Prednji desni kotač osobnog vozila nalazi se na 35,90 m sjeverno od PTM
 - Prednji desni dio osobnog vozila nalazi se na 36,65 m sjeverno od PTM



Slika 19. Situacijski plan naleta osobnog vozila Hyundai Accent na odraslu lutku

U ovom slučaju kapa koja je bila na lutki, nakon naleta nalazi se na području unutar 1 m udaljenosti od mjesta naleta čime se može zaključiti da u ovom primjeru vrijedi teorija za kapu.

Zapisnikom očevida su evidentirani su tragovi kočenja duljine 24,10 m sjeverno i 0.30 m desno u smjeru mjerenja. Bočni pomak od 0.30 m je zanemariv jer ne utječe na promjenu ukupne duljine tragova kočenja koja stoga iznosi 24,10 m. Iz tablice 5. uzeta je prosječna vrijednost usporenja ovisno o vrsti i stanju podloge i iznosi 5,4 m/s².

$$v_0 = \sqrt{2 * 5,4 * 24,10} = 16,13 \left[\frac{m}{s} \right] = 58,07 \left[\frac{km}{h} \right]$$

Dobivena vrijednost iznosi 16,13 m/s odnosno 58,01 km/h, čime se vidi odstupanje od oko 6 km/h koje se može objasniti odstupanjem vrijednosti usporenja koje je u ovom slučaju može prema tablici imati vrijednost od 4,0 do 6,8 m/s² i minimalnim usporenjem vozila zbog

udara lutke. Kako je vozilo počelo kočiti tek nakon naleta na lutku može se pretpostaviti da je brzina na početku tragova kočenja ujedno i brzina u trenutku naleta.

U trenutku naleta na lutku vozilo nije bilo kočeno stoga ni u ovom primjeru nisu zadovoljeni uvjeti za primjenu metode za proračun brzine na temelju duljine odbačaja pješaka, iako rezultati ne pokazuju znatna odstupanja od stvarne vrijednosti.

$$v_n = 12 * \sqrt{30,80} = 66,6 \left[\frac{km}{h} \right]$$

Korištenjem Kramerove formule dobiveni su sljedeći rezultati:

$$v_n = \sqrt{0,1 * 5,4^4 + 37 * 5,4 * 30,80} - 0,33 * 5,4^2 = 69,4 \left[\frac{km}{h} \right]$$

Nalet na lutku ostavio je znatne deformacije na vozilu koje su prikazane na slici XX. Može se vidjeti oštećenje prednjeg branika vozila, jače udubljenje poklopca motora i puknuće vjetrobranskog stakla u donjem desnom dijelu koje je prema obliku uzrokovano udarcem glave lutke. Na temelju navedenih oštećenja se prema grafičkom prikazu procjene brzine na temelju kontakta glave pješaka i vozila koji je prikazan prethodno na slici 11. može zaključiti da je naletna brzina iznosila 50 do 60 km/h što pokazuje određena odstupanja jer je stvarna naletna brzina iznosila 64 km/h.



Slika 20. Prikaz oštećenja na vozilu uzrokovanih naletom na lutku II

Iako je vidljivo puknuće vjetrobranskog stakla na vozilu, tijekom provođenja procesne radnje očevida ovog naleta nisu zabilježeni nikakvi podaci o raspršenju čestica stakla što dovodi do ne mogućnosti primjene metode iz poglavlja 4.5. ovog rada.

U zapisniku očevida zabilježeni su podaci o otpalim predmetima dio plastične zaštite motora, glava lutke, trup lutke i lijeva ruka lutke. Glava, lijeva ruka i trup lutke bi u stvarnom slučaju vjerojatno sačinjavali jedan objekt, to jest tijelo pješaka, jer u većini slučajeva naleta pješaka pri ovakvim brzinama ne dolazi do odvajanja dijelova tijela pješaka. Na dalje,

udaljenost otpalog dijela plastične zaštite motora se može koristiti kao ulazni parametar za metodu određivanja brzine na temelju odbačaja predmeta:

$$v_n = 10 * 6,25 = 62,5 \text{ [m/s]}$$

Rezultati prikazuju znatna odstupanja od stvarne vrijednosti jer je otpali predmet bio dio vozila, što znači da nije bio u posjedu pješaka što je navedeno kao uvjet za primjenu ove metode.

Očitavanje brzine s tahografa i li iz EDR uređaja nije bilo moguće jer vozilo nije bilo opremljeno istima. Za potrebe ovog istraživanja vozilo je bilo opremljeno dodatnim uređajima koji bilježe brzinu vozila, a to su u ovom slučaju bili XL metar i DAQ uređaj. Podaci o brzini s navedenih uređaja prikazani su u općim informacijama o naletu.

5.3. Osobno vozilo Hyundai Accent i lutka II

U tablici 8. prikazane su osnovne informacije o izvedenoj simulaciji naleta na lutku.

Tablica 8. Osnovne informacije o naletu osobnog vozila Hyundai Accent na lutku II

Osnovne informacije	
<i>Model vozila</i>	<i>Osobno vozilo Hyundai Accent</i>
<i>Vrsta lutke</i>	<i>Odrasla lutka</i>
<i>Vremenski uvjeti</i>	<i>Kiša</i>
<i>Vrsta i stanje kolnika</i>	<i>Betonske kocke, mokar</i>
<i>Brzina naleta</i>	<i>80 km/h</i>
<i>Duljina odbačaja</i>	<i>38,00 m</i>
<i>Početna točka mjerenja</i>	<i>zapadni rub betonskih ploča</i>

Napomena: Mjerenja su izvršena po osovini u smjeru kretanja automobila, u smjeru sjevera.

Očevid simulacije naleta izvršen je od strane djelatnika Zavoda za prometno-tehnička vještačenja, Fakulteta prometnih znanosti u Zagrebu, te su evidentirani sljedeći tragovi:

- Mjesto naleta sjeverno od PTM za 0,00 m i desno od PTM za 5,5 m
- Na 0,60 m sjeverno od PTM i u desno za 5,90 m kapa označena brojem 1
- Na 2,30 m sjeverno od PTM i desno po osovini za 6 m fragmenti boje otpali s osobnog automobila označeni brojem 2
- Na 9,60 m sjeverno od PTM i desno po osovini za 7,5 m trag boje otpao s osobnog automobila označen brojem 3
- Na 8 m sjeverno od PTM staklo prednjeg desnog svjetla označeno brojem 4
- Na 12,60 m sjeverno od PTM fragment plastike označen brojem 5
- Na 38 m sjeverno od PTM i desno po osovini za 8,20 m trup lutke označen brojem 6
- Izmjere osobnog automobila označen brojem 7:

- Stražnji desni kotač osobnog automobila nalazi se na 38,70 m sjeverno do PTM i desno po osovini za 4,5 m
- Prednji desni kotač osobnog automobila nalazi se na 41,25 m sjeverno do PTM i desno po osovini za 4,5 m
- Prednji desni dio osobnog automobila nalazi se na 41,70 m sjeverno od PTM i desno po osovini za 4,5 m



Slika 21. *Situacijski plan naleta osobnog vozila Hyundai Accent na odraslu lutku pri brzini 80 km/h*

U ovom slučaju kapa koja je bila na lutki, nakon naleta nalazi se na području unutar 1 m udaljenosti od mjesta naleta čime se može zaključiti da u ovom primjeru vrijedi teorija za kapu.

Tragovi kočenja nisu evidentirani zapisnikom što dovodi do ne mogućnosti primjene metode za određivanje brzine na temelju tragova kočenja.

U trenutku naleta na lutku vozilo nije bilo kočeno stoga ni u ovom primjeru nisu zadovoljeni uvjeti za primjenu metode za proračun brzine na temelju duljine odbačaja pješaka, iako rezultati ne pokazuju znatna odstupanja od stvarne vrijednosti.

$$v_n = 12 * \sqrt{38,00} = 74,0 \left[\frac{km}{h} \right]$$

Koristi li se Kramerova formula dobiju se sljedeći rezultati:

$$v_n = \sqrt{0,1 * 5,4^4 + 37 * 5,4 * 38,00} - 0,33 * 5,4^2 = 77,99 \left[\frac{km}{h} \right]$$

Nalet na lutku ostavio je znatne deformacije na vozilu koje su prikazane na slici 22. Može se vidjeti puknuće prednjeg branika vozila, puknuće prednjeg desnog svjetla, udubljenje i oštećenje laka poklopca motora, udubljenje desnog A stupa i puknuće vjetrobranskog stakla u donjem desnom dijelu koje je prema obliku uzrokovano udarcem glave lutke. Na temelju navedenih oštećenja se prema grafičkom prikazu procjene brzine na temelju kontakta glave pješaka i vozila koji je prikazan prethodno na slici 11. može zaključiti da je naletna brzina iznosila isto kao u prethodnom primjeru 50 do 60 km/h iako je mjesto kontakta više nego u prethodnom primjeru, što pokazuje znatnija odstupanja jer je stvarna naletna brzina iznosila 80 km/h. Mjesto kontakta glave pješaka i vozila za brzinu 80 km/h bilo bi na samom vrhu vjetrobranskog stakla.



Slika 22. Prikaz oštećenja na vozilu uzrokovanih naletom na lutku

Iako je vidljivo puknuće vjetrobranskog stakla na vozilu, tijekom provođenja procesne radnje očevida ovog naleta nisu zabilježeni nikakvi podaci o raspršenju čestica stakla što dovodi do ne mogućnosti primjene metode iz poglavlja 4.5. ovog rada.

U zapisniku očevida zabilježeni su podaci o otpalim predmetima dio plastične zaštite motora, glava lutke, trup lutke i lijeva ruka lutke. Glava, lijeva ruka i trup lutke bi u stvarnom slučaju vjerojatno sačinjavali jedan objekt, to jest tijelo pješaka, jer u većini slučajeva naleta pješaka pri ovakvim brzinama ne dolazi do odvajanja dijelova tijela pješaka. Na dalje, udaljenost otpalog dijela plastične zaštite motora se može koristiti kao ulazni parametar za metodu određivanja brzine na temelju odbačaja predmeta:

$$v_n = 10 * 6,25 = 62,5 [m/s]$$

Rezultati prikazuju znatna odstupanja od stvarne vrijednosti jer je otpali predmet bio dio vozila, što znači da nije bio u posjedu pješaka što je navedeno kao uvjet za primjenu ove metode.

Očitanje brzine s tahografa i li iz EDR uređaja nije bilo moguće jer vozilo nije bilo opremljeno istima. Za potrebe ovog istraživanja vozilo je bilo opremljeno dodatnim uređajima koji bilježe brzinu vozila, a to su u ovom slučaju bili XL metar i DAQ uređaj. Podaci o brzini s navedenih uređaja prikazani su u općim informacijama o naletu.

5.4. Evaluacija dobivenih rezultata

Prema navedenim proračunima može se zaključiti da su u navedenim primjerima relevantne metode određivanja brzine na temelju tragova kočenja, odbačaja pješaka i Kramerova formula. Ostale metode nisu primjenjive iz razloga što tragovi za njihovu primjenu nisu nastali u procesu nesreće, nisu evidentirani zapisnikom o očevidu ili nisu zadovoljeni uvjeti za primjenu tih tragova za pojedini primjer, što su i pokazali rezultati njihove primjene. U tablici 6. prikazani su svi dobiveni rezultati u km/h.

Tablica 9. Rezultati dobiveni ispitivanjem pojedinih metoda

	1. PRIMJER	2. PRIMJER	3. PRIMJER
TRAGOVI KOČENJA	-----	58,07	-----
ODBAČAJ PJEŠAKA	64,84	66,60	74,00
KRAMEROVA FORMULA	67,30	69,40	77,99
PREMA DIJAGRAMU KONTAKTA GLAVE PJEŠAKA I VOZILA	-----	50-60	50-60
DAQ (stvarna brzina naleta)	54,00	64,00	80,00

Iz tablice 9. je vidljivo da za prvi primjer odnosno za dostavno vozilo nijedna od relevantnih metoda za utvrđivanje brzine vozila nije dala zadovoljavajuće rezultate. Tragovi kočenja dostavnog vozila nisu bili evidentirani zapisnikom o očevidu, pa se ta metoda nije mogla primijeniti, a izračuni brzine temeljeni na daljini odbačaja pješaka i Kramerovoj

formuli pokazuju velika odstupanja od stvarne brzine naleta. Budući da je riječ o dostavnom vozilu, naletnu brzinu nije bilo moguće odrediti ni prema dijagramu kontakta glave pješaka i vozila. U drugom primjeru najveća nepreciznost pri određivanju naletne brzine vozila prikazana je u podacima dobivenim na temelju kontakta glave pješaka i vozila (50-60 km/h). Brzina izračunata na temelju daljine odbačaja pješaka u tom primjeru prikazuje najmanja odstupanja od stvarne naletne brzine vozila. U trećem primjeru gdje je stvarna brzina vozila pri naletu na pješaka iznosila 80,00 km/h, ponovno se ne može primijeniti metoda utvrđivanja brzine na temelju tragova kočenja jer takvi tragovi nisu bili evidentirani. Naletna brzina dobivena na temelju kontakta glave pješaka i vozila prikazuje znatna odstupanja od stvarna brzine odnosno čak 20-30 km/h manje. U ovom primjeru najrelevantniji je izračun brzine na temelju Kramerove formule koji prikazuje odstupanja od 2,01 km/h od stvarne naletne brzine vozila dobivene na temelju crash testa.

6. ANALIZA NALETA NA PJEŠAKA PRIMJENOM PROGRAMSKOG ALATA PC CRASH

Zahvaljujući konstantnom tehnološkom napretku, danas se, osim klasičnih analitičkih metoda za rekonstrukciju i analizu prometnih nesreća, mogu koristiti i različiti računalni programi za simulaciju prometnih nesreća. Za razliku od standardnih metoda, njihova prednost je što se na brz i jednostavan način mogu izračunati veoma kompleksni proračuni i utvrditi činjenice koje standardne metode nikako ne mogu ili bar ne mogu precizno odrediti.

Računalni programi namijenjeni ekspertizama prometnih nesreća naleta na pješaka omogućuju vizualizaciju kretanja pješaka od trenutka primarnog kontakta s vozilom sve do njegovog konačnog zaustavljanja na kolniku. Mogućnost simulacija naleta i mogućnost usporedne analize oštećenja na vozilu i ozljeda pješaka predstavljaju vrlo efikasno sredstvo za razjašnjenje okolnosti vezanih za nastanak takve prometne nesreće.

Razvoj prvih specijaliziranih programskih paketa namijenjenih analizi i simulaciji prometnih nesreća započeo je u devedesetim godinama prošlog stoljeća i danas na tržištu postoji više vrsta programskih paketa namijenjenih analizi prometnih nesreća poput CARAT-a, PC Crash-a, Virtual Crash-a, Analyzer Pro-a itd. Svaki od postojećih programa ima svoje posebnosti, međutim, zajedničke osobine tih programa su isti principi rada rješavanja sudarnih procesa, simulacija, reakcija vozača, ubrzanja, kočenja i drugih parametara bitnih za analizu prometnih nesreća.

Većina programa za analizu prometnih nesreća sadrži module za vizualizaciju provedenih simulacija u dvodimenzionalnom i trodimenzionalnom obliku. Ovakav oblik prezentacije olakšava interpretaciju složenih računskih operacija što omogućuje predstavljanje rezultata rada na jasan i razumljiv način. Jedan od takvih, a ujedno i jedan od najviše korištenih programskih alata za rekonstrukciju prometnih nesreća je PC Crash.

PC Crash je računalni program za simulaciju prometnih nesreća u kojima sudjeluju motorna vozila. Njegov razvoj započeo je devedesetih godina prošlog stoljeća kada ga je austrijski znanstvenik Herman Steffan počeo razvijati kao aplikaciju za Microsoft. Zahvaljujući upotrebi najnovijih hardvera i softvera i maksimalnom odgovaranju na zahtjeve korisnika po pitanju kompleksnosti izračuna te pokrivanju mnogo različitih vrsta prometnih nesreća, PC Crash je postao jedan od najpoznatijih programskih alata za rekonstrukciju prometnih nesreća u svijetu, [20].

Svrha PC Crasha je istraživanje, edukacija i rekonstrukcija prometnih nesreća, a njegovi glavni korisnici su uredi za analizu nesreća u prometu, policijske postaje, osiguravajuće tvrtke, automobilska industrija i sveučilišta. Više od 5 000 uporabnih licenci i njegovo često korištenje u velikom broju publicističkih objava i testova sudara dokazuju kvalitetu i preciznost izračuna.

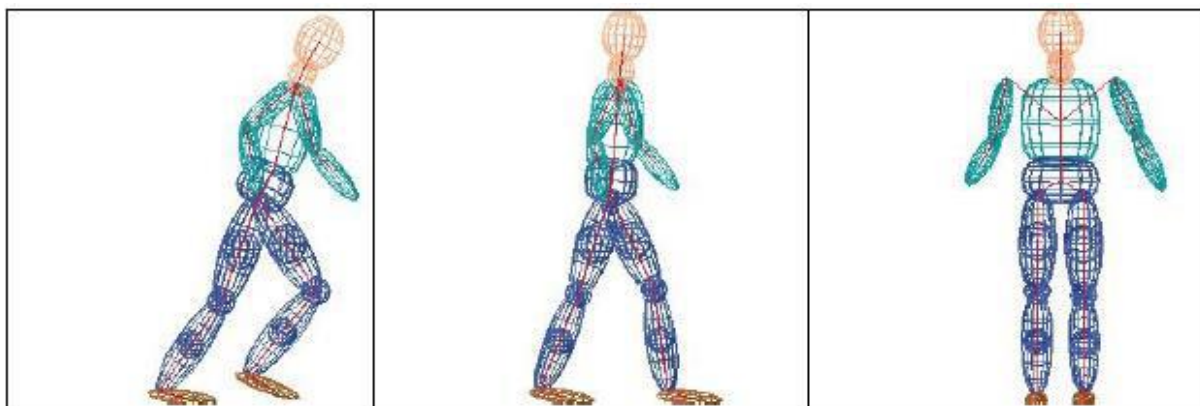
PC Crash predstavlja samo pomoć pri rekonstrukciji prometnih nesreća i za njegovu pravilnu i svrsishodnu upotrebu korisnici moraju imati informatičko predznanje te stručna

znanja iz područja prometa, posebno analize prometnih nesreća. Da bi proračuni programa bili vjerodostojni, potrebno je uz stručna predznanja iz područja vještačenja imati i kvalitetne materijalne dokaze o nastaloj nesreći pomoću kojih se unose ulazni podaci.

Osnovu računalnog programa čini „Kudlich – Slibar“ sudarni model koji je zasnovan na zakonu promjene količine kretanja i zakonu o promjeni momenta količine gibanja, uz uvažavanje koeficijenta restitucije kod potpunih sudara i koeficijenta trenja između vozila kod sudara koji imaju karakter okrznuća. Model je karakteriziran definicije točke udara odnosno točkom u kojoj se pretpostavlja da je razmijenjena ukupna sila sudara, [20].

U PC Crashu moguće je simulirati sudar do 32 vozila u 2D i 3D prikazu. Osim sudara automobila, prednost korištenja je u tome što program može precizno izračunati i sudar automobila i motocikla, automobila s čvrstom preprekom, gibanje tijela putnika unutar vozila, prevrtanje vozila, ali i što je najbitnije za ovaj rad, nalet vozila na pješaka.

U 3D simulaciji naleta na pješaka vozilo je prikazano kao jedinstveno kruto tijelo, a tijelo pješaka prikazano je pomoću Multibody simulacijskog modela odnosno kao sustav međusobno povezanih tijela kako bi se mogla dobiti realna slika takve prometne nesreće i kvalitetno prikazati njegovi pokreti. Kao što je prikazano na slici 23., model pješaka tako je prikazan kao sustav od 16 elemenata koji su međusobno povezani zglobovima, a svaki od njihovih položaja moguće je definirati po x, y i z osi. Zahvaljujući takvom prikazu može se precizno odrediti kretanje odnosno položaj pješaka u trenutku naleta vozila, [20].



Slika 23. Karakteristični položaji multibody sustava u programskom alatu PC Crash (trčanje, hodanje, stajanje)

Prije same simulacije prometne nesreće potrebno je izraditi skicu mjesta nesreće koja će poslužiti kao podloga za rekonstrukciju. Integrirani program za crtanje omogućava korisniku da dizajnira slike scena nesreće ili koristi unaprijed skenirane policijske skice te da izrađuje ili učitava predefinirane objekte u 2D i 3D prikazu.

PC Crash ima veliku bazu sa svim vrstama i tipovima vozila, ali postoji i mogućnost učitavanja za posebne prikaze oblika vozila, što je prikazano na slici 24. Nakon biranja vozila, program daje mogućnost korigiranja njegovih karakteristika kao što su definiranje modela i dimenzija pneumatika, definiranje sile kočenja, momenta inercije vozila i slično. Osim već definirane mase praznog vozila, korisniku je ostavljena mogućnost određivanja mase putnika i

tereta u vozilu. PC Crash ima integriran program crtanja za modificiranje oblika sukladno oštećenjima na vozilu, isto je prikazano na slici 25.

Vozilo-Banka podataka

Banka podataka: DSD 2019 Vozilo broj: 2 Tip: Sve

Oznaka upita:

KBA Broj ključa (XXXXXX-0035-433XXX):

1: XXXXX 2: 0035 3: 433 Upit

Proizvođač: Hyundai

Oznaka

Oznaka	Snaga	Godina proizvodnje	Oblik k
Accent 1.3i GLS	55 kW	01.1995-12.2002	Sedan
Accent 1.3i GS autom.	62 kW	01.1996-12.1999	Sedan
Accent 1.4	71 kW	01.2009-12.2009	Sedan
Accent 1.4	71 kW	01.2009-12.2009	Sedan
Accent 1.4	71 kW	01.2009-12.2009	Sedan

Godina proizvodnje: Sve Vozač:

Učitaj Završi

Slika 24. Učitavanje vozila u programskom alatu PC Crash

Podaci za vozilo

2 Hyundai-Accent 1.3i GLS - X3

Hyundai-Accent 1.3i GLS - X3

Vozač:

Broj osovine: 2

Dužina: 4.100 m

Širina: 1.630 m

Visina: 1.390 m

Prednji prepust: 0.810 m

Stupanj prijenosa: 15

Razmak kotača 1: 1.420 m

Razmak kotača 2: 1.420 m

Tip: Osobno vozilo

Vlastita masa: 1041.0 kg

Razmak težište-prednja osovina: 1.200 m

Visina težišta: 0.500 m

Momenti inercije:

Rotacija: 1299.9 kgm²

Zibanje: 390.0 kgm²

Ljuljanje: 1299.9 kgm²

☐ ABS 0.1 sec

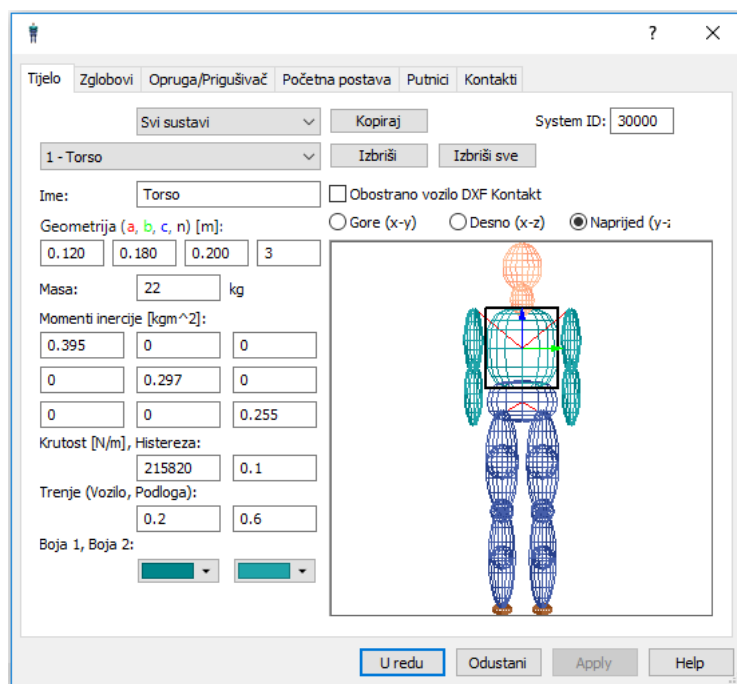
☒ place on slopes automatically

Razmak osovine: 2.400 m

U redu Odustani Apply

Slika 25. Učitavanje podataka za vozilo u programskom alatu PC Crash

Što se tiče tijela pješaka, njegova priprema za simulaciju odvija se na način da se prvo odredi njegov položaj u odnosu na vozilo. Zbog korištenja Multibody simulacijskog modela, u PC Crashu tijelo pješaka nije stabilizirano u stojećem položaju već djeluje po zakonu gravitacije. Iz tog razloga je bitno obratiti pozornost pri pozicioniranju njegovog položaja u odnosu na vozilo jer, u slučaju velikog odmak od vozila, u toku simulacije može pasti i prije kontakta s vozilom.



Slika 26. Učitavanje podataka za Multibody sustav u programskom alatu PC Crash

Kao što je vidljivo na slici 26., zahvaljujući Multibody modulu, u PC Crashu je moguće vršiti usklađivanje položaja pojedinih dijelova pješaka u odnosu na vozilo kao što je primjerice postavljanje modela u raskorak, pognuti položaj, zakretanje u odnosu na vozilo i slično. Položaj pješaka u odnosu na vozilo se definira na osnovu usporedne analize oštećenja koja su nastala na vozilu i ozljeda pješaka iz realne nesreće. Osim određivanja položaja, PC Crash omogućava i korigiranje mase i visine pješaka koje su značajne za visinu težišta pješaka. Sve navedeno predstavlja parametre koji imaju značajni utjecaj na kinematiku naleta odnosno na izvođenje precizne i realne simulacije, [20].

Sudar pojedinih elemenata Multibody modela pješaka sa dijelovima vozila i podlogom izračunavaju se automatski, a osnovni integracijski korak za izračunavanje pokreta pješaka je 1 m/s.

Proračun simulacije u PC Crashu može potrajati do nekoliko minuta, ovisno o brzini rada računala i zahtjevnosti simulacije. Nakon izvedene simulacije, vozilo se može prebaciti u dxf format kako bi se dobio njegov realističan izgled, a sama simulacija se može kreirati kao avi format.

U nastavku rada u PC Crashu su prikazane simulacije prema ulaznim parametrima dobivenim iz crash testova sa Zavoda za prometno-tehnička vještačenja. Osim prikaza simulacija crash testova, napravljene su i simulacije prema naletnim brzinama vozila dobivenim korištenjem različitih relevantnih metoda određivanja brzine vozila pri naletu na pješaka, a na temelju podataka iz provedenih crash testova.

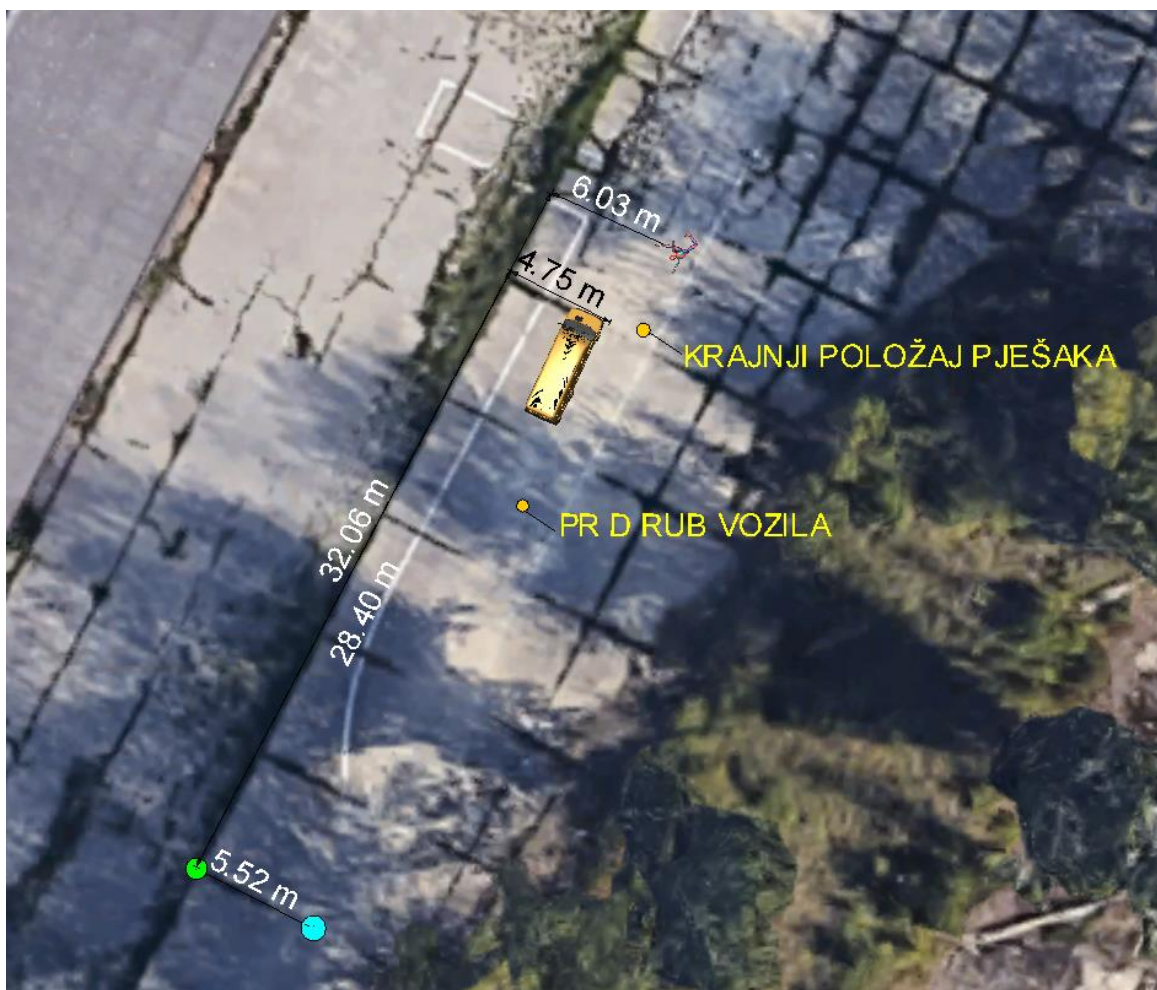
6.1. Nalet dostavnog vozila Renault Trafic na lutku (dijete)

Na sljedećim slikama prikazani su konačni položaji vozila i lutke dobiveni simulacijom, te su kotirane udaljenosti prednjeg desnog ruba vozila i konačni položaj lutke od fiksne točke mjerenja koja je ujedno i početna točka mjerenja. FTM je na slikama označena zelenim kružićem, mjesto naleta plavim, dok su krajnji položaji prednjeg desnog ruba vozila i lutke označeni žutim kružićem.



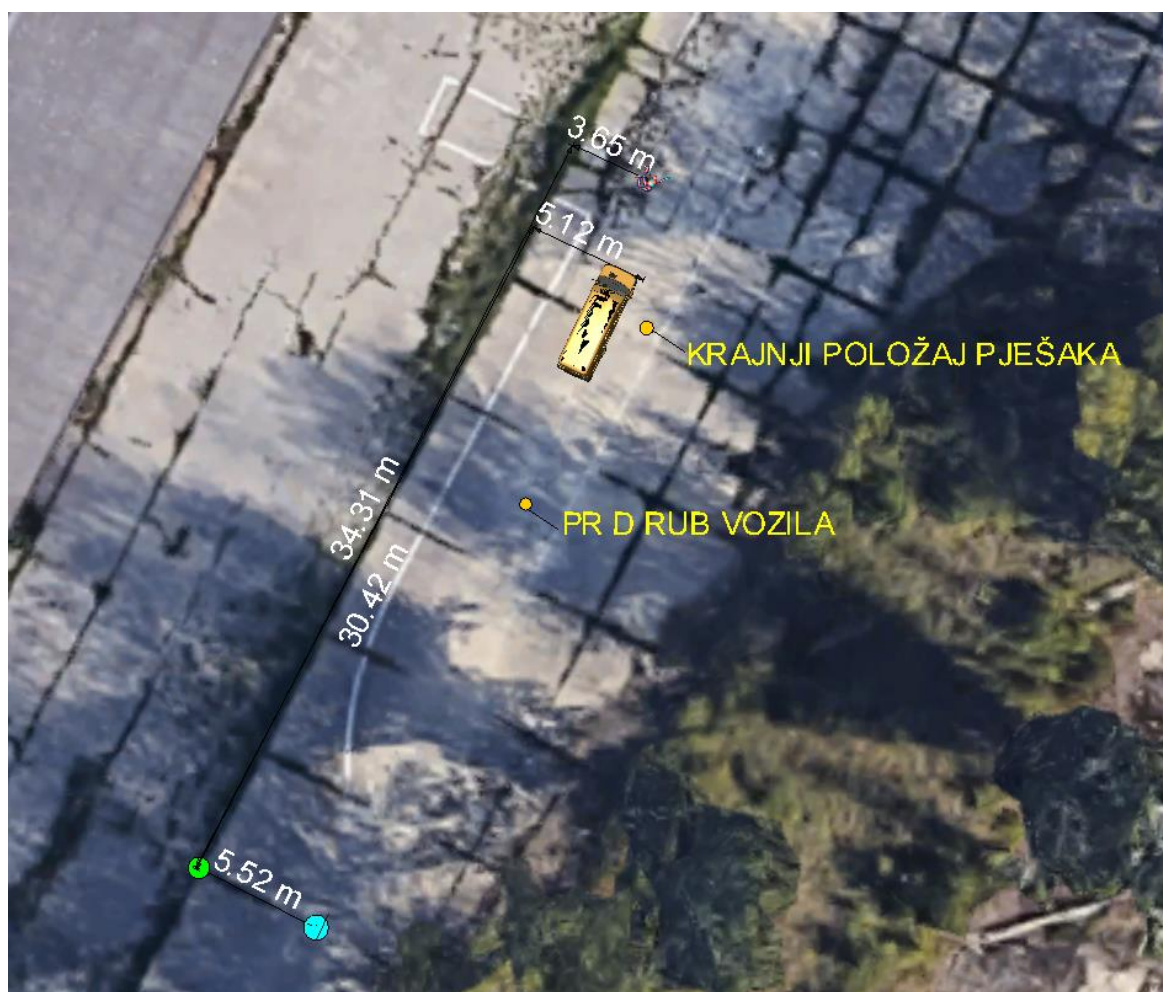
Slika 27. Simulacija naleta dostavnog vozila Renault Trafic na lutku pri brzini 54 km/h

Na slici 27. prikazana je simulacija naleta dostavnog vozila Renault Trafic na lutku (dijete) provedenog crash testom. Kao fiksna točka mjerenja (FTM) odabran je zapadni rub betonskih ploča i ta fiksna točka uzeta je kao relevantna i za ostale provedene simulacije za navedeno dostavno vozilo. U trenutku naleta na lutku, dostavno vozilo je imalo brzinu od 54 km/h i nalazilo se 5,52 m od FTM (početna točka mjerenja). Slika prikazuje da je prednji desni rub vozila, u trenutku zaustavljanja, bio 19,10 m sjeverno i 5,00 m desno od FTM. Tijelo pješaka se zaustavilo na 29,20 m sjeverno i 6,00 m desno od FTM. Konačni položaj tijela pješaka i vozila nakon naleta označen je i na idućim simulacijama kako bi se lakše vidjela odstupanja dobivena primjenom relevantnih metoda određivanja brzine.



Slika 28. Simulacija naleta dostavnog vozila Renault Trafic na lutku pri brzini 64.84 km/h

Slika 28. prikazuje krajnji položaj tijela pješaka i vozila nakon simulacije naleta pri brzini određenoj na temelju daljine odbačaja tijela pješaka. U ovoj simulaciji, vozilo je u trenutku naleta na pješaka imalo brzinu od 64,84 km/h čime je vidljivo odstupanje od stvarne brzine od 10,84 km/h. Nakon naleta, vozilo se zaustavilo na način da je prednji desni rub vozila bio 28,40 m sjeverno i 4,75 m desno od FTM, a krajnji položaj tijela pješaka je bio 32,06 m sjeverno i 6,00 m desno od FTM. Gledajući podatke dobivene simulacijom crash testa, vidljivo je odstupanje za vozilo od 9,30 m sjeverno više i 0,25 m desno manje od FTM nego kod stvarnih podataka. Što se tiče tijela pješaka, njegov krajnji položaj pokazuje odstupanje od 2,86 m sjeverno više od FTM.



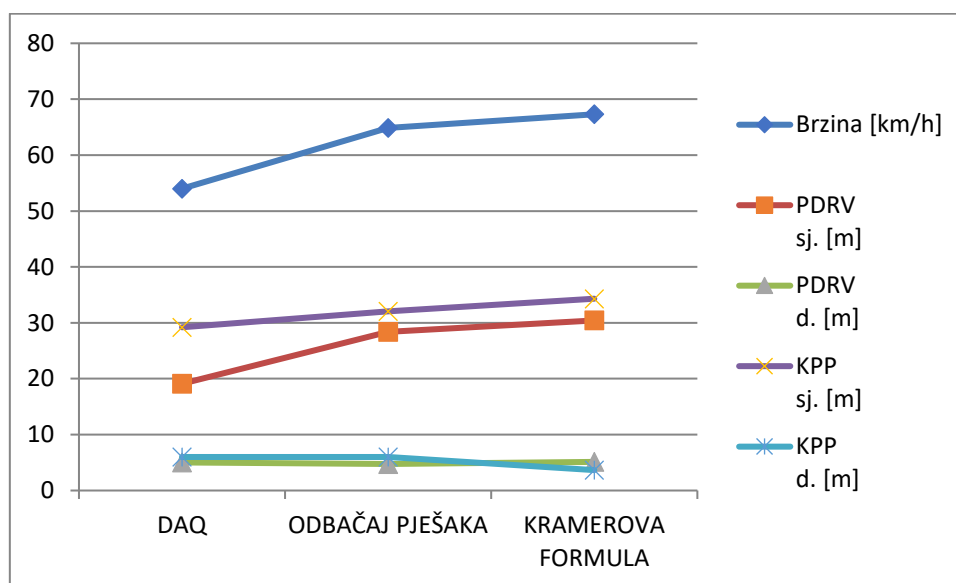
Slika 29. Simulacija naleta dostavnog vozila Renault Trafic na lutku pri brzini 67.3 km/h

Prema Kramerovoj formuli za određivanje brzine vozila, dostavno vozilo je u trenutku naleta na pješaka imalo brzinu od 67,30 km/h odnosno za 13,30 km/h više nego što pokazuju stvarni podaci. Slika 29. prikazuje da se prednji desni rub vozila u trenutku konačnog zaustavljanja vozila nalazio 30,42 m sjeverno i 5,12 m desno od FTM odnosno za 11,32 m sjeverno i 0,12 m desno od FTM više nego što je prikazano u simulaciji dobivenoj korištenjem stvarnih podataka iz crash testa. Tijelo pješaka zaustavilo se na udaljenosti od 34,31 m sjeverno i 3, 65 m desno od FTM. Gledajući podatke iz početne simulacije, vidljivo je odstupanje od 5,11 m sjeverno više i 2,35 m desno manje od FTM.

Tablica 10. Rezultati dobiveni simulacijama u programskom alatu PC Crash za nalet dostavnog vozila Renault Trafic na lutku

	Brzina [km/h]	PR D rub vozila [m]		Krajnji položaj pješaka [m]	
		sjeverno	desno	sjeverno	desno
DAQ	54,00	19,10	5,00	29,20	6,00
Udaljenost od mjesta naleta		19,10		29,22	
ODBAČAJ PJEŠAKA	64,84	28,40	4,75	32,06	6,00
Udaljenost od mjesta naleta		28,41		32,06	
Postotak promjene	20,07%	48,74%		9,73%	
KRAMEROVA FORMULA	67,30	30,42	5,12	34,31	3,65
Udaljenost od mjesta naleta		30,42		34,39	
Postotak promjene	24,63%	59,27%		17,69%	

Tablica 10. prikazuje odstupanja nastala primjenom relevantnih metoda za određivanje brzine vozila od podataka dobivenih na temelju rezultata provedenog crash testa. Udaljenost od mjesta naleta u tablici se odnosi na udaljenost prednjeg desnog ruba vozila ili krajnjeg položaja lutke od mjesta naleta neovisno o smjeru i početnoj točki mjerenja, dok postotak promjene prikazuje odstupanje od stvarno izmjerenih vrijednosti. Prema podacima crash testa, za vozilo nisu evidentirani tragovi kočenja zbog čega je ta metoda utvrđivanja brzine neprimjenjiva za navedeni primjer. Iz tablice je vidljivo da dvije relevantne metode prikazuju velika odstupanja od stvarnih podataka.



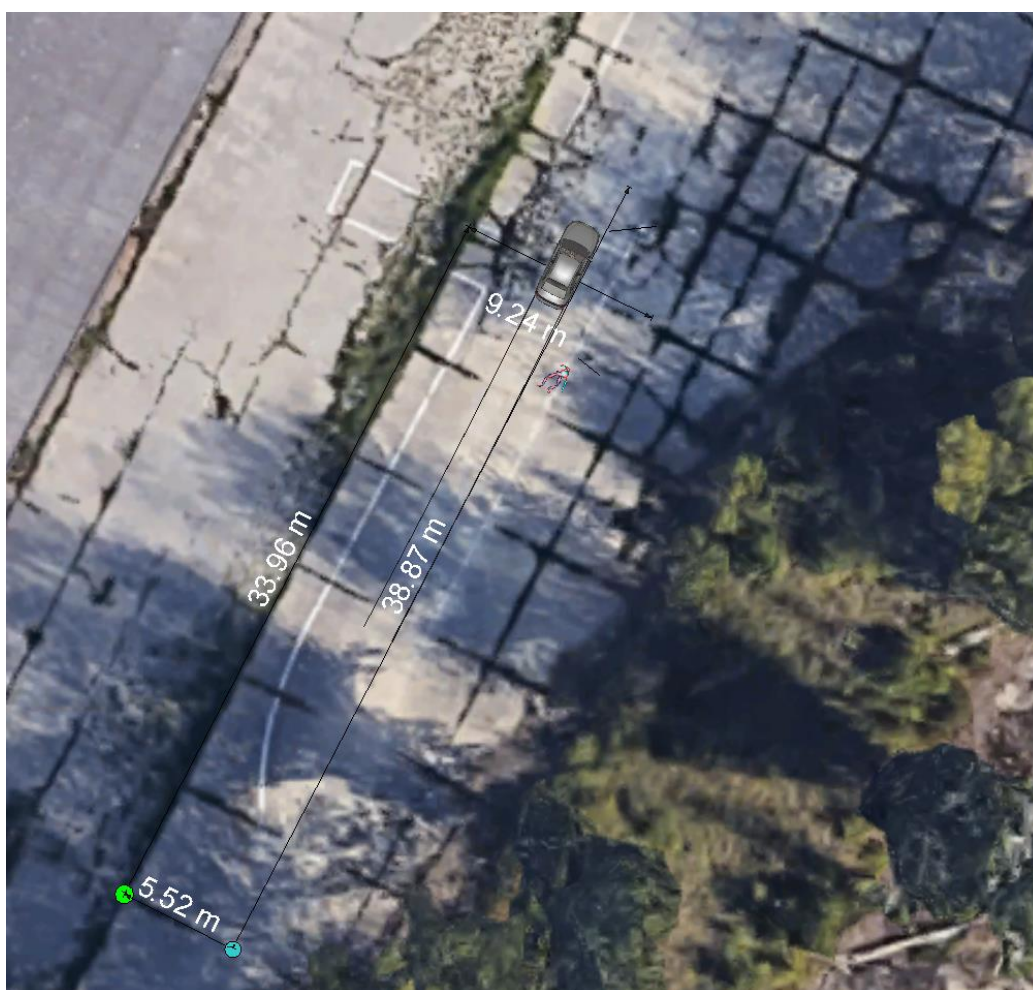
Grafikon 10. Rezultati dobiveni simulacijom u programskom alatu PC Crash za nalet dostavnog vozila Renault Trafic na lutku

U grafikonu 10. prikazana su odstupanja brzina vozila dobivenih relevantnim metodama za utvrđivanje brzine vozila od stvarne naletne brzine vozila. Također su prikazana i odstupanja u udaljenosti položaja prednjeg desnog dijela vozila i krajnjeg položaja tijela pješaka od FTM naspram realnih podataka dobivenih na temelju provedenog crash testa. Iz grafikona je vidljivo da je mijenjanje ulaznog parametra naletne brzine vozila uvjetovalo

neujednačene promjene ostalih parametara. Prema naletnoj brzini vozila izračunatoj na temelju daljine odbačaja pješaka, a koja je bila za 10,84 km/h veća od stvarne naletne brzine, položaj prednjeg desnog ruba vozila bio je za 0,25 m desno manje od FTM nego prema stvarnim podacima. Gledajući grafički prikaz za Kramerovu formulu, gdje je izračunata naletna brzina vozila također bila veća od stvarne naletne brzine (za 13,30 km/h), vidljivo je da se povećala i udaljenost prednjeg desnog ruba vozila od FTM, ali je tijelo pješaka konačno zaustavljeno za 2,35 m desno manje od FTM nego prema stvarnim podacima.

6.2. Osobno vozilo Hyundai Accent i lutka I

Na sljedećim slikama prikazani su konačni položaji vozila i lutke dobiveni simulacijom, te su kotirane udaljenosti prednjeg desnog ruba vozila i konačni položaj lutke od fiksne točke mjerenja koja je ujedno i početna točka mjerenja. FTM je na slikama označena zelenim kružićem, mjesto naleta plavim, dok su krajnji položaji prednjeg desnog ruba vozila i lutke označeni žutim kružićem.



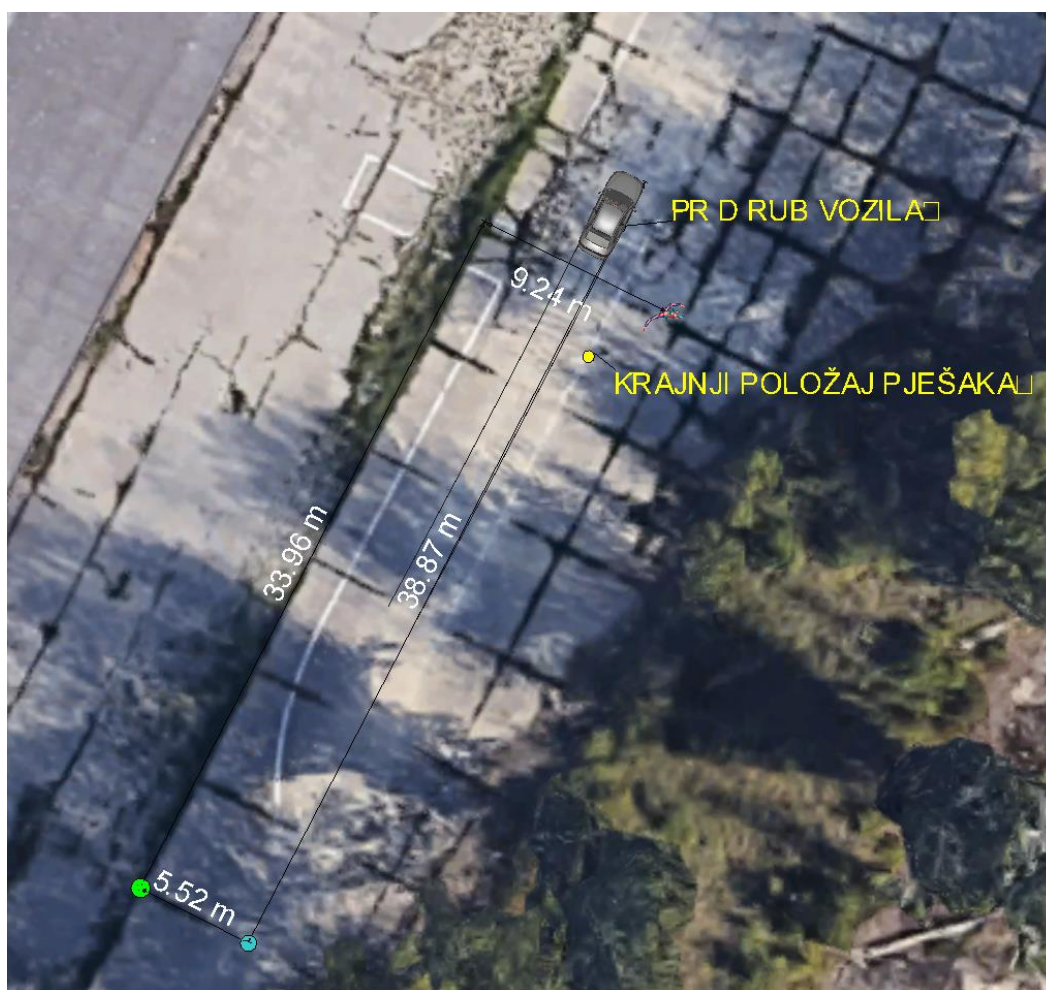
Slika 30. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I pri brzini 64 km/h

Na slici 30. prikazana je simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku prema parametrima dobivenim na temelju izvedenog crash testa. Brzina vozila u trenutku naleta na lutku iznosila je 64 km/h. U trenutku naleta, vozilo se nalazilo 5,50 m desno od fiksne točke mjerenja (FTM). Na simulaciji je vidljivo da se vozilo konačno zaustavilo na način da je prednji desni rub vozila bio 36,65 m sjeverno i 5,50 m desno po osovini od FTM, a krajnji položaj pješaka u simulaciji bio je 30,80 m sjeverno i 6,70 m desno od FTM. Kao i u prethodnom primjeru, navedeni položaj prednjeg desnog ruba vozila i krajnji položaj pješaka označeni su i na idućim prikazima simulacija kako bi se lakše vidjela odstupanja dobivena primjenom relevantnih metoda određivanja brzine.



Slika 31. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I pri brzini 58,07 km/h

Na slici 31. prikazana je simulacija naleta vozila na pješaka prema podacima za brzinu vozila određenu prema tragovima kočenja vozila. Naletna brzina vozila u ovom slučaju iznosila je 58,07 km/h što pokazuje odstupanje od gotovo 6 km/h s obzirom na brzinu dobivenu ispitivanjem u crash testovima. Pri takvoj brzini, bez mijenjanja drugih ulaznih parametara, vozilo se zaustavilo tako da je prednji desni rub vozila bio 30,57 m sjeverno i 5,5 m desno od FTM, a krajnji položaj pješaka 26,39 m sjeverno i 5,85 m od FTM. Uspoređujući dobivene podatke sa stvarnim podacima crash testa vidljivo je odstupanje od 6,08 m sjeverno manje od FTM za prednji desni rub vozila i odstupanja od 4,41 m sjeverno te 0,85 desno manje od FTM za krajnji položaj pješaka.



Slika 32. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I pri brzini 66,60 km/h

Na slici 32. prikazan je rezultat simulacije naleta na pješaka s obzirom na brzinu vozila izračunatu prema daljini odbačaja pješaka. U ovoj simulaciji početna odnosno naletna brzina vozila iznosila je 66,6 km/h odnosno 2,6 km/h više od brzine prikazane u crash testu. Prednji desni rub vozila se pri zaustavljanju nalazio 38,87 m sjeverno i 5,5 m desno od FTM, a krajnji položaj pješaka je bio 33,96 m sjeverno te 9,24 m desno od FTM. Gledajući FTM, takva metoda određivanja naletne brzine vozila pri analizi pokazuje odstupanja od 2,22 m sjeverno za položaj prednjeg desnog ruba vozila više od stvarnog položaja. Što se tiče mjesta zaustavljanja pješaka, njegov krajnji položaj pokazuje 3,16 m sjeverno i 2,54 m desno više od FTM nego stvarni brojevi dobiveni istraživanjem.



Slika 33. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I pri brzini 69,04 km/h

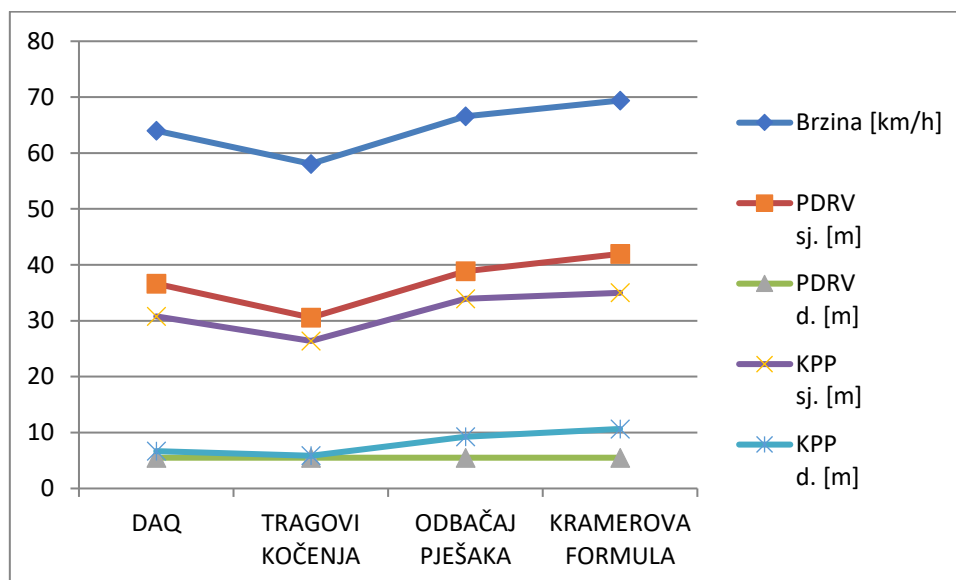
Prema Kramerovoj formuli, naletna brzina vozila na lutku iznosila bi 69,4 km/h što predstavlja odstupanje od 5,4 km/h u odnosu na realne podatke prikazane u crash testu. Na slici 33. vidljivo je da je u simulaciji prednji desni rub vozila bio 41,96 m sjeverno i 5,50 m desno u odnosu na FTM. To pokazuje odstupanje od 5,31 m sjeverno od FTM više u odnosu na podatke iz crash testa. Tijelo pješaka se konačno zaustavilo na 35,00 m sjeverno i 10,65 m desno od FTM. U odnosu na podatke iz istraživanja, prema Kramerovoj formuli, za krajnji položaj pješaka vidljivo je odstupanje od 4,20 m sjeverno i 3,95 m desno više od FTM.

Tablica 11. Rezultati dobiveni simulacijama u programskom alatu PC Crash za nalet osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I

	Brzina [km/h]	PR D rub vozila [m]		Krajnji položaj pješaka [m]	
		sjeverno	desno	sjeverno	desno
DAQ	64,00	36,65	5,50	30,80	6,70
Udaljenost od mjesta naleta	64,00	36,65		30,82	
TRAGOVI KOČENJA	58,07	30,57	5,50	26,39	5,85
Udaljenost od mjesta naleta		30,57		26,39	
Postotak promjene	-9,27%	-16,59%		-14,38%	
ODBAČAJ PJEŠAKA	66,60	38,87	5,50	33,96	9,24

Udaljenost od mjesta naleta		38,87		34,17	
Postotak promjene	4,06%	6,06%		10,84%	
KRAMEROVA FORMULA	69,40	41,96	5,50	35,00	10,65
Udaljenost od mjesta naleta		41,96		35,22	
Postotak promjene	8,44%	14,49%		14,27%	

Tablica 11. prikazuje rezultate odnosno odstupanja dobivene primjenom različitih metoda za određivanje brzine vozila u odnosu na realne podatke dobivene ispitivanjima na Zavodu za prometno-tehnička vještačenja. Sve navedene udaljenosti mjerene su od iste fiksne točke mjerenja odnosno od zapadnog ruba betonskih kocki kao što je prikazano u slikama simulacija. Iz tablice 11. je vidljivo da u ovom primjeru najmanja odstupanja od stvarnih podataka pokazuje metoda određivanja brzine vozila u trenutku naleta prema daljini odbačaja tijela pješaka. Udaljenost od mjesta naleta u tablici se odnosi na udaljenost prednjeg desnog ruba vozila ili krajnjeg položaja lutke od mjesta naleta neovisno o smjeru i početnoj točki mjerenja, dok postotak promjene prikazuje odstupanje od stvarno izmjerenih vrijednosti.



Grafikon 11. Rezultati dobiveni simulacijama u programskom alatu PC Crash za nalet osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I

Grafikon 11. također prikazuje odstupanja pojedine metode za utvrđivanje brzine vozila od stvarne naletne brzine vozila i položaja prednjeg desnog dijela vozila te krajnjeg položaja tijela pješaka od podataka dobivenima na temelju provedenog crash testa. Iz grafikona je vidljivo da mijenjanje ulaznog parametra brzine uvjetuje ujednačene promjene ostalih parametara za pojedinu metodu. Primjerice, gledajući brzinu dobivenu na temelju daljine odbačaja pješaka koja je bila za 2,60 km/h veća od stvarne naletne brzine vozila, vidljivo je da se povećao i razmak između konačnog položaja prednjeg dijela vozila i krajnjeg položaja tijela pješaka od FTM.

6.3. Osobno vozilo Hyundai Accent i lutka II

Na sljedećim slikama prikazani su konačni položaji vozila i lutke dobiveni simulacijom, te su kotirane udaljenosti prednjeg desnog ruba vozila i konačni položaj lutke od fiksne točke mjerenja koja je ujedno i početna točka mjerenja. FTM je na slikama označena zelenim kružićem, mjesto naleta plavim, dok su krajnji položaji prednjeg desnog ruba vozila i lutke označeni žutim kružićem.



Slika 34. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku II pri brzini 80 km/h

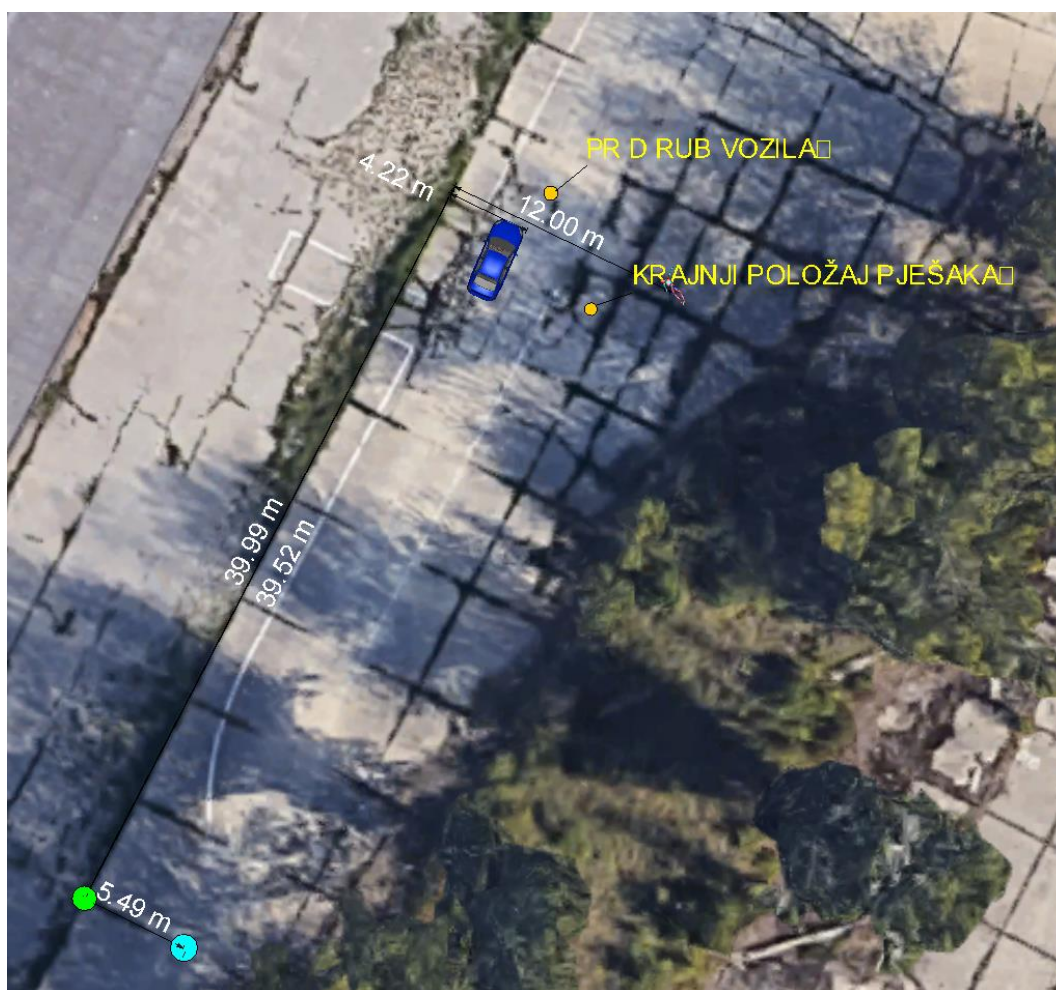
U istraživanjima Zavoda za prometno-tehnička vještačenja, Fakulteta prometnih znanosti u Zagrebu, proveden je i crash test naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku pri brzini od 80 km/h. Kao što je prikazano na slici 34., u trenutku naleta vozilo se nalazilo 5,50 m desno od fiksne točke mjerenja (FTM) . Kao i u prethodnom primjeru, FTM je zapadni rub betonskih kocki. U ovom slučaju, prilikom zaustavljanja, prednji desni rub vozila bio je 41,70 m sjeverno i 4,50 m desno od FTM. Prema podacima na temelju crash testa, tijelo pješaka se konačno zaustavilo na 38,00 m sjeverno i 8,20 m desno u odnosu na FTM.



Slika 35. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku II pri brzini 74,00 km/h

Gledajući daljinu odbačaja pješaka, kao ulazni parametar za simulaciju izračunata je naletna brzina u iznosu 74 km/h. Kao što je prikazano na slici 35. time su dobiveni sljedeći rezultati:

- prednji desni rub vozila prilikom zaustavljanja bio je 35,84 m sjeverno i 5,03 m desno u odnosu na FTM što pokazuje odstupanja od 5,86 m sjeverno manje i 0,53 m desno više u odnosu na FTM nego kod podataka dobivenih crash testom
- krajnji položaj pješaka bio je 35,52 m sjeverno i 8,03 m desno od FTM i tu je vidljivo odstupanje od stvarnih podataka za 6,18 m sjeverno i 0,17 m desno manje u odnosu na FTM.



Slika 36. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku II pri brzini 77,99 km/h

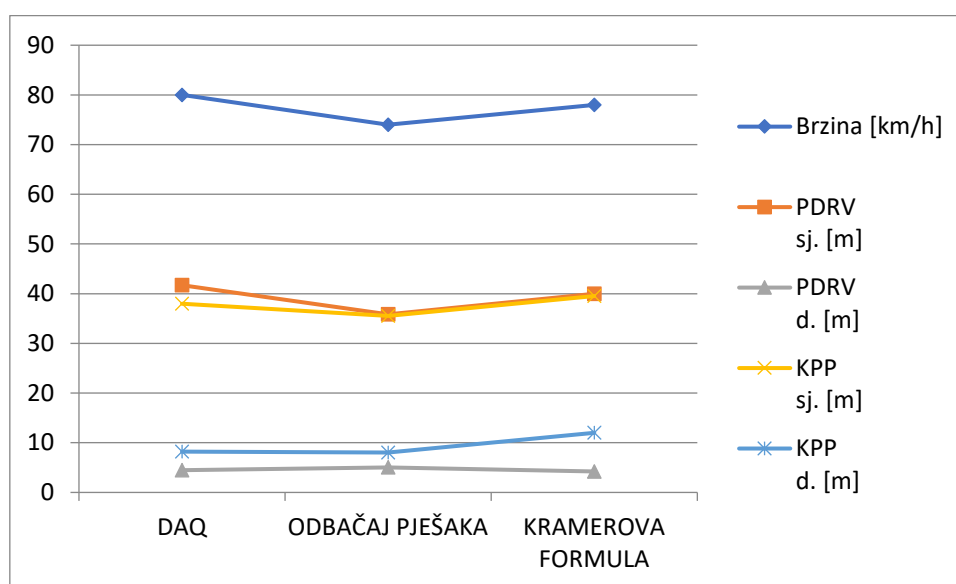
Slika 36. prikazuje simulaciju naleta vozila pri brzini 77,99 km/h dobivenoj Kramerovom formulom. S takvom brzinom u trenutku naleta, prednji desni rub vozila se prilikom zaustavljanja nalazio 39,99 m sjeverno i 4,22 metra desno s obzirom na FTM što pokazuje odstupanja od 1,71 m sjeverno i 0,28 m desno od FTM više od rezultata dobivenih crash testom . Što se tiče krajnjeg položaja pješaka, tijelo pješaka se zaustavilo na 39,52 m sjeverno i 12,00 m desno od FTM. Tu se vidljiva odstupanja od 1,52 m sjeverno i 3,80 m desno od FTM više nego kod stvarnih podataka.

Tablica 12. Rezultati dobiveni simulacijama u programskom alatu PC Crash za nalet osobnog vozila Hyundai Accent na lutku II

	Brzina [km/h]	PR D rub vozila [m]		Krajnji položaj pješaka [m]	
		sjeverno	desno	sjeverno	desno
DAQ	80,00	41,70	4,50	38,00	8,20
Udaljenost od mjesta naleta		41,71		38,10	
ODBAČAJ PJEŠAKA	74,00	35,84	5,03	35,52	8,03
Udaljenost od mjesta naleta		35,84		35,61	
Postotak promjene	-7,50%	-14,07%		-6,53%	
KRAMEROVA FORMULA	77,99	39,99	4,22	39,52	12,00

Udaljenost od mjesta naleta		40,01	40,05
Postotak promjene	-2,51%	-4,08%	5,13%

Kao što je vidljivo u tablici 12., u ovom primjeru nije uzeta naletna brzina vozila dobivena metodom određivanja brzine temeljem tragova kočenja. Prilikom provedbe crash testa po kojem je rađena početna simulacija, nisu bili evidentirani tragovi kočenja vozila, pa samim time nije bilo ni moguće na taj način odrediti brzinu vozila u trenutku naleta. Uspoređujući dvije ostale metode određivanja brzine sa stvarnim podacima, vidljivo je da su podaci dobiveni na temelju Kramerove formule više relevantni odnosno pokazuju manja odstupanja nego podaci dobiveni na temelju daljine odbačaja tijela pješaka. Udaljenost od mjesta naleta u tablici se odnosi na udaljenost prednjeg desnog ruba vozila ili krajnjeg položaja lutke od mjesta naleta neovisno o smjeru i početnoj točki mjerenja, dok postotak promjene prikazuje odstupanje od stvarno izmjerenih vrijednosti.



Grafikon 12. Rezultati dobiveni simulacijama u programskom alatu PC Crash za nalet osobnog vozila Hyundai Accent II

Iz grafikona 12. vidljivo je da mijenjanje ulaznog parametra brzine prilikom simulacija rezultira neujednačenim promjenama ostalih parametara. Gledajući grafički prikaz za daljinu odbačaja pješaka, vidljivo je da je unatoč manjoj naletnoj brzini vozila i smanjivanju udaljenosti tijela pješaka od FTM, položaj prednjeg desnog ruba vozila bio za 0,53 m desno od FTM više nego prema stvarnim podacima. Prema Kramerovoj formuli, naletna brzina vozila je također bila manja od stvarne brzine, ali je simulacija takve brzine rezultirala neujednačenom promjenom ostalih parametara. Prednji desni rub vozila bio je zaustavljen na manjoj udaljenosti od FTM nego prema stvarnim podacima, ali je tijelo pješaka unatoč tome bilo odbačeno dalje nego u realnom primjeru. Tijelo pješaka tako se konačno zaustavilo za 1,52 m sjeverno i 3,80 m desno više od FTM nego prema podacima iz crash testa.

7. ZAKLJUČAK

Nesreće u cestovnom prometu predstavljaju jedan od glavnih uzroka smrti u svijetu. Na cestama godišnje prosječno strada 1 240 000 sudionika prometa, od čega se čak 270 000 (22%) odnosi na pješake.

Pješaci predstavljaju jednu od najugroženijih skupina sudionika u prometu. U kontaktu s vozilom koje ima daleko veću masu i brzinu, u pravilu teško, a često i smrtno stradavaju. Zbog sve složenije prometne infrastrukture, ali i same nezaštićenosti pješaka u odnosu na vozače vozila, taj je problem prepoznat i na globalnoj razini. Međunarodne organizacije poput Ujedinjenih naroda i Europske unije različitim mjerama sustavno rade na jačanju sigurnosti, poticanju prometne kulture, izgradnji kvalitetnije prometne infrastrukture i smanjivanju broja stradalih na cestama. Tako je 2010. godine organizacija Ujedinjenih naroda donijela rezoluciju kojom je proglašeno takozvano „Desetljeće akcije“ kojemu je cilj smanjiti broj žrtava u cestovnom prometu za 50% do 2020. godine.

Na temelju „Desetljeća akcije“, Republika Hrvatska je 2010. godine donijela Nacionalni program sigurnosti cestovnog prometa kojemu je cilj do 2020. godine smanjiti broj poginulih za 50% odnosno na 213 poginulih osoba. Ipak, statistički podaci i analize pokazuju kompleksnost problema i neujednačenost u osiguravanju sigurnosti cestovnog prometa odnosno da Republika Hrvatska još uvijek nije ni blizu očekivanog cilja. 2018. godine na hrvatskim cestama poginula je 61 osoba više (23,8%) nego što je predviđeno Nacionalnim programom sigurnosti cestovnog prometa. Sa prosječno 7,7 poginulih na 100 000 stanovnika, Republika Hrvatska daleko zaostaje i za europskim prosjekom od 5,5 poginulih. Za prikazano petogodišnje razdoblje, od 2014. do 2018. godine, statistički podaci pokazuju da je najviše stradalih sudionika prometnih nesreća bilo u svojstvu vozača (62%) što je i razumljivo budući da su njihove pogreške i najčešći uzrok prometnih nesreća. U promatranom razdoblju prosječni udio pješaka u ukupnom broju poginulih u prometnim nesrećama iznosio je 20%. U radu je vidljivo i da puno manji broj nesreća nastaje pogreškom odnosno nediscipliniranim ponašanjem od strane pješaka, a jedna od najčešćih pogrešaka koja je dovela do prometne nesreće je nekorištenje obilježenog pješačkog prijelaza. U Republici Hrvatskoj, najugroženija dobna skupina pješaka je ona iznad 65 i više godina odnosno pripadnici starije životne dobi kojih je statistički najveći broj gledajući i poginule i ozlijeđene pješake.

Prilikom naleta vozila na pješaka, posljedice takve vrste prometne nesreće na tijelo pješaka ovise o nizu faktora. Osim same naletne brzine vozila, značajni su i vrsta naleta odnosno položaj pješaka u trenutku kontakta s vozilom, oblik prednjeg dijela vozila te visina i težište pješaka.

Nakon naleta vozila na pješaka, jedna od glavnih stavki pri rekonstrukciji takve prometne nesreće je odrediti brzinu vozila u trenutku kontakta s tijelom pješaka. Da bi se mogla obaviti kvalitetna rekonstrukcija i utvrditi naletna brzina vozila, prvo je potrebno imati detaljno i temeljito proveden očevid odnosno ustanovljene parametre potrebne za dokazivanje

uzroka te nesreće. Ako se prilikom očevida odrede krivi ulazni parametri i načine greške u statičkoj fazi, cijeli očevid će za posljedicu imati lošiju kvalitetu. Prilikom naleta vozila na pješaka, brzina pješaka uglavnom je gotovo zanemariva s obzirom na njegovu konstituciju i nezaštićenost naspram krutosti, mase i brzine vozila. U ovom radu objašnjene su neke od najvažnijih analitičkih metoda za utvrđivanje brzine vozila, a zatim je na temelju stvarnih prikaza prometne nesreće preko onih metoda koje su bile relevantne izračunata naletna brzina vozila i prikazana odstupanja svake metode od stvarnih podataka. Rezultati su pokazali da relevantnost određene metode ovisi o ulaznim parametrima odnosno specifičnim okolnostima i uvjetima svake prometne nesreće te vrste.

Na temelju podataka dobivenih iz crash testova Zavoda za prometno-tehnička vještačenja u Zagrebu, u radu su prikazani i rezultati izvedenih simulacija u programskom alatu za rekonstrukciju prometnih nesreća PC Crash. Prikazima simulacija su dodatno prikazana odstupanja pojedinih metoda za određivanje brzine. Mijenjanjem samo jednog ulaznog parametra odnosno naletne brzine vozila koja se za svaku simulaciju dobila izračunima, značajno su promijenjeni i mjesto zaustavljanja vozila i mjesto na kojem se tijelo pješaka nakon odbačaja od vozila konačno zaustavilo.

LITERATURA:

- [1] Rotim F., Peran Z.: Forenzika prometnih nesreća Svezak 1. Zagreb: Hrvatsko društvo za promet; 2011.
- [2] World Health Organization, »WHO calls for actions to save lives« [Mrežno] Pristup: https://www.who.int/mediacentre/news/notes/2013/make_walking_safe_20130502/en/ [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [3] Zovak G., Šarić Ž.: „Prometno tehničke ekspertize i sigurnost – nastavni materijal“, autorizirana predavanja, Zagreb, 2016.
- [4] Hollis Bros, »Human vs. Auto« [Mrežno] Pristup: <https://hollisbrothersauto.com/human-vs-auto-pedestrian-protection-system> [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [5] Seiffert H., Wech L.: Automotive Safety Handbook, Second Edition, Warrendale, Pa 15096-0001 USA, SAE International, 2007.
- [6] Ministarstvo unutarnjih poslova, »Bilten promet 2018« [Mrežno] Pristup: https://mup.gov.hr/UserDocsImages//statistika/2019//bilten_promet_2018.pdf [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [7] Eurostat, »Road deaths in the European Union« [Mrežno] Pristup: <https://etsc.eu/euroadsafetydata> [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [8] Ministarstvo unutarnjih poslova, »Pregled sigurnosnih pokazatelja u 2018.« [Mrežno] Pristup: https://mup.gov.hr/UserDocsImages/statistika/2019/Pregled%20sigurnosnih%20pokazatelja%20u%202018%20godini/Statisticki%20pregled%202018_web.pdf [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [9] Eurostat, »People killed in road accidents« [Mrežno] Pristup: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [10] lavtourist.ru, »Situacijski plan« <http://lavtourist.ru/bez-rubriki/sxema-dtp-obrazec-2.html> [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [11] Narodne novine, »Pravilnik o stalnim sudskim vještacima« [Mrežno] Pristup: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_03_38_677.html [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [12] Kostić S.: „Ekspertize saobraćajnih nezgoda“, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009.
- [13] Tomasch, E.: Accident Reconstruction Guidelines, Graz University of Technology, Graz, 2004.
- [14] Laković S.: Analiza prometnih nesreć, Fakulteta za gradbeništvo, Univerza v Mariboru, 2004.
- [15] Tseveennamjil, B., Hudak, A., Rievaj, V.: Determining the speed of vehicles before and after crash, vol. 6, p. 155-163, 2011.
- [16] Rajsman M., Rođak A.: Značenje tahografa u radu inspekcije cestovnog prometa i prevenciji prometnih nesreća; Stručni rad, Zagreb, 2014.
- [17] Mell, »Digitalni tahograf« [Mrežno] Pristup: <https://mell.hr/tahografi/digitalni-tahograf> [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [18] Canis, B., Randall, D.: „Black Boxes“ in Passenger Vehicles: Policy Issues July 22. 2014.

- [19] Bosch Diagnostics, »Crash Data Retrieval« [Mrežno] Pristup:
https://www.boschdiagnostics.com/cdr/sites/cdr/files/15-93_cdr_crash_data_retrieval.pdf
[Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [20] Zovak, G.: Rekonstrukcija cestovnih prometnih nezgoda programskim alatima,
Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2007.

POPIS SLIKA:

Slika 1. Vrste naleta na pješaka	4
Slika 2. Potpuni frontalni nalet vozila na pješaka.....	4
Slika 3. Utjecaj oblika prednjeg dijela vozila na kinematiku pješaka	8
Slika 4. Faze duljine odbačaja pješaka	10
Slika 5. Grafički prikaz elemenata definicije daljine odbačaja i puta klizanja tijela pješaka, [3]	10
Slika 6. Pad brzine vozila kod naleta na pješaka	12
Slika 7. Grafički prikaz kretanja stvarnog i očekivanog broja poginulih u EU	14
Slika 8. Situacijski plan prometne nesreće naleta vozila na pješaka	29
Slika 9. Prosječna daljina odbačaja pješaka kao funkcija naletne brzine	34
Slika 10. Ovisnost brzine naleta o udaljenosti deformacijskog oblika vozila od udara glave pješaka	36
Slika 11. Mjesto kontakta glave pješaka s vozilom ovisno o brzini vozila	37
Slika 12. Učestalost ozljeda dijelova tijela pješaka uzrokovanih pojedinim dijelovima karoserije vozila	37
Slika 13. Brzina naleta u odnosu na daljinu odbačaja čestica vjetrobranskog stakla	39
Slika 14. Približno određivanje brzine vozila na temelju odbačaja čestica vjetrobranskog stakla ili svjetla.....	40
Slika 15. Prikaz funkcija digitalnog tahografa.....	43
Slika 16. Puni plastični sudar dvaju vozila jednake mase	45
Slika 17. Situacijski plan naleta dostavnog vozila Renault Trafic na lutku (dijete)	47
Slika 18. Prikaz oštećenja na vozilu uzrokovanih naletom na lutku II.....	48
Slika 19. Situacijski plan naleta osobnog vozila Hyundai Accent na odraslu lutku.....	51
Slika 20. Prikaz oštećenja na vozilu uzrokovanih naletom na lutku II.....	52
Slika 21. Situacijski plan naleta osobnog vozila Hyundai Accent na odraslu lutku pri brzini 80 km/h.....	54
Slika 22. Prikaz oštećenja na vozilu uzrokovanih naletom na lutku	55
Slika 23. Karakteristični položaji multibody sustava u programskom alatu PC Crash (trčanje, hodanje, stajanje).....	59
Slika 24. Učitavanje vozila u programskom alatu PC Crash	60
Slika 25. Učitavanje podataka za vozilo u programskom alatu PC Crash.....	60
Slika 26. Učitavanje podataka za Multibody sustav u programskom alatu PC Crash.....	61
Slika 27. Simulacija naleta dostavnog vozila Renault Trafic na lutku pri brzini 54 km/h	62
Slika 28. Simulacija naleta dostavnog vozila Renault Trafic na lutku pri brzini 64.84 km/h .	63
Slika 29. Simulacija naleta dostavnog vozila Renault Trafic na lutku pri brzini 67.3 km/h ...	64
Slika 30. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I pri brzini 64 km/h....	66
Slika 31. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I pri brzini 58,07 km/h	67
Slika 32. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I pri brzini 66,60 km/h	68
Slika 33. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I pri brzini 69,04 km/h	69
Slika 34. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku II pri brzini 80 km/h ..	71

Slika 35. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku II pri brzini 74,00 km/h	72
Slika 36. Simulacija naleta osobnog vozila Hyundai Accent na lutku II pri brzini 77,99 km/h	73

POPIS TABLICA:

Tablica 1. Dobna struktura poginulih i ozlijeđenih pješaka u 2018. godini.....	19
Tablica 2. Broj ukupno poginulih u prometnim nesrećama u zemljama članicama Europske unije za razdoblje od 2013.-2017. god.	21
Tablica 3. Broj poginulih pješaka u zemljama članicama Europske Unije za razdoblje od 2013.-2017. god.....	22
Tablica 4. Brzina kretanja pješaka prema uzrastu i načinu hoda	25
Tablica 5. Vrijednosti usporenja pri forsiranom kočenju osobnih automobila ovisno o vrsti kolnika	30
Tablica 6. Osnovne informacije o naletu dostavnog vozila Renault Trafic na lutku (dijete)..	46
Tablica 7. Osnovne informacije o naletu osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I.....	49
Tablica 8. Osnovne informacije o naletu osobnog vozila Hyundai Accent na lutku II	53
Tablica 9. Rezultati dobiveni ispitivanjem pojedinih metoda	56
Tablica 10. Rezultati dobiveni simulacijama u programskom alatu PC Crash za nalet dostavnog vozila Renault Trafic na lutku	65
Tablica 11. Rezultati dobiveni simulacijama u programskom alatu PC Crash za nalet osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I.....	69
Tablica 12. Rezultati dobiveni simulacijama u programskom alatu PC Crash za nalet osobnog vozila Hyundai Accent na lutku II	73

POPIS GRAFIKONA:

Grafikon 1. Prikaz kretanja stvarnog i očekivanog broja poginulih u prometu u RH	13
Grafikon 2. Prometne nesreće u RH za razdoblje od 2014.-2018. god.....	15
Grafikon 3. Broj ozlijeđenih i poginulih osoba u prometnim nesrećama za razdoblje od 2014.- 2018. god.....	16
Grafikon 4. Broj poginulih u prometnim nesrećama za razdoblje od 2014.-2018. god.....	16
Grafikon 5. Prikaz prosječnog broja poginulih u prometnim nesrećama za razdoblje 2014.- 2018. god.....	17
Grafikon 6. Prometne nesreće uzrokovane pogreškom pješaka za razdoblje od 2014.-2018. god.	18
Grafikon 7. Poginuli u prometnim nesrećama koje su uzrokovane pogreškom pješaka za razdoblje od 2014.-2018. god.....	19
Grafikon 8. Dobna struktura pješaka poginulih u 2018. godini.....	20

Grafikon 9. Prosječna stopa ukupno poginulih i poginulih pješaka za razdoblje od 2013.- 2017. god.	23
Grafikon 10. Rezultati dobiveni simulacijom u programskom alatu PC Crash za nalet dostavnog vozila Renault Trafic na lutku	65
Grafikon 11. Rezultati dobiveni simulacijama u programskom alatu PC Crash za nalet osobnog vozila Hyundai Accent na lutku I	70
Grafikon 12. Rezultati dobiveni simulacijama u programskom alatu PC Crash za nalet osobnog vozila Hyundai Accent II.....	74



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom

Usporedna analiza metoda definiranja brzine vozila pri naletu na pješaka

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 12.9.2019 _____

(potpis)